



## **Análise dos Impactos Energéticos de Veículos Autónomos**

João Alexandre Ferreira Dias Costa

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Dissertação orientada por  
Pedro Nunes  
Carla Silva



## Agradecimento

A realização deste trabalho é o culminar de muitos anos de empenho, com altos e baixos, mas que serviu para enriquecer a minha vida, quer a nível educacional, quer a nível pessoal. Provavelmente foram os melhores anos da minha vida e só tenho de agradecer a quem contribuiu para esta caminhada, pouco ou muito, todos foram em importantes.

Agradeço o trabalho prestado pelos meus orientadores, à Professora Carla Silva e ao Professor Pedro Nunes, pela dedicação e pelo conhecimento transmitido.

Aos meus colegas, mas sobretudo amigos do MK, tornaram todos estes anos mais do que meros “anos de faculdade”. Ficarão amigos para a vida e poderão contar sempre com o meu apoio.

Aos meus pais, que sempre demonstraram preocupação e apreço pelo meu trabalho, foram sem dúvida os principais impulsionadores desta caminhada.

À Tânia pela preocupação e pela dedicação para comigo, pela paciência que teve todos estes anos e pelo amor incondicional.

E, por último, dedico este trabalho à minha avó que partiu recentemente, uma mulher com uma força imensa e um exemplo de pessoa, fez de mim um melhor homem e agradeço por todos os momentos em que esteve presente.

Obrigado a todos.



## Resumo

As elevadas emissões de gases de efeito de estufa com origem antropogénica ao longo de décadas têm consequências, provocando o aquecimento do planeta. Os transportes são um dos principais contribuidores para isso. Atualmente, a mobilidade encontra-se em transição, registando-se um forte aumento no número de veículos elétricos vendidos. Estes, se elétricos puros, praticamente não prejudicam a qualidade do ar local, já que as emissões de escape são nulas. Por outro lado, as construtoras de automóveis têm planos para a comercialização de veículos totalmente autónomos, alegando que a tecnologia estará comercialmente disponível a partir de 2020. Adicionalmente, os serviços de partilha de veículos ganham popularidade a nível mundial, e podem operar sinergeticamente com os veículos autónomos. Estas várias realidades tornarão muito diferente o futuro do transporte de passageiros.

Neste contexto, nesta dissertação avalia-se o potencial do transporte ligeiro de passageiros em Portugal até 2050 do ponto de vista da mobilidade elétrica e autónoma. Apesar da difusão de veículos elétricos em Portugal ser para já inferior à de outros países europeus, existirão a médio/longo prazo mudanças, especialmente se a conjuntura para a adoção destas tecnologias for favorável. O estudo foi elaborado para vários cenários, variando entre eles o enquadramento legislativo e o desenvolvimento tecnológico.

A primeira fase do trabalho consiste numa prospeção da evolução do parque automóvel privado em Portugal até 2050. A frota total não sofre muitas oscilações durante esse período, contudo a sua constituição alterar-se-á, com maior ou menor incorporação de veículos elétricos, simples ou autónomos; diferentes possibilidades de evolução foram consideradas.

Posteriormente, caracterizou-se a evolução tecnológica possível dos sistemas elétricos e autónomos, de acordo com os pressupostos de cada cenário. Para tal recorreu-se a valores históricos das vendas de veículos elétricos em vários países, cuja evolução futura se modelou recorrendo à função de Gompertz. Foram construídas três curvas de projeção baseadas nos dados de Portugal (ilustrando uma evolução baixa), Suécia (média) e Noruega (alta). Os sistemas de partilha dividiram-se em *car sharing* e *ride sharing*, tendo implicações diferentes na frota e nos consumos. Assume-se que estes veículos serão autónomos.

No que concerne ao consumo de energia final no sector dos ligeiros de passageiros, os resultados indicam reduções na ordem dos 64 a 77% em 2050 relativamente a 2010, sendo que as maiores são referentes aos cenários em que existe melhor conjuntura para a implantação de veículos elétricos e autónomos, como a existência de incentivos à compra ou de infraestruturas facilitadoras, e.g. faixas dedicadas nas estradas para esses carros. As emissões locais de gases poluentes apresentam reduções na ordem dos 76 a 100%. Estes resultados permitem afirmar que as políticas de incentivo a estas novas formas de mobilidade e a propiciação de uma conjuntura favorecedora do desenvolvimento tecnológica nesta área são instrumentos importantes nos ganhos ambientais que se poderão conseguir.

**Palavras-Chave:** Veículos elétricos, veículos autónomos, *Car sharing*, *Ride sharing*, Mobilidade sustentável, cenários de transportes.



# Abstract

The high greenhouse gases emissions over the past decades have consequences, causing global warming. Transports sector is one of the main contributors to this. Currently, mobility is in transition and there is an increase in the number of electric vehicles sold every year. These, if pure electric, hardly harm the quality of the local air, as the exhaust emissions are nil. On the other hand, car manufacturers have plans for the commercialization of fully autonomous vehicles, claiming that the technology will be commercially available from 2020. Additionally, vehicle sharing services gain popularity worldwide and can operate synergetically with autonomous vehicles. These various realities will make the future of passenger transport very different.

In this dissertation, the potential of light passenger transport in Portugal was evaluated up to 2050 from the point of view of electrical and autonomous mobility. Despite the lower diffusion of electric vehicles in Portugal compared to other European countries, changes will exist in the medium/long term, especially if the conjuncture for the adoption of these technologies is favorable. The study was approached by drawing up scenarios, varying the legislative framework and technological development.

The first phase of the work consists in a prospecting of the evolution of private car park in Portugal until 2050. The total fleet does not suffer large oscillations during this period, but its constitution will change, with more or less incorporation of electric vehicles, autonomous or not; different possibilities of evolution were considered.

It was characterized the possible technological evolution of the electrical and autonomous systems, according to the assumptions of each scenario. For this it was used historical values of the sales of electric vehicles in several countries, whose future evolution was modeled using a Gompertz function. Three projection curves based on the data from Portugal, Norway and Sweden were built: the first one characterized a low evolution, the second and the third ones a high and average progresses, respectively. The sharing systems are divided into car sharing and ride sharing, having different implications in the fleet and consumption. These vehicles are assumed to be autonomous.

As far as the final energy consumption in the passenger fleet is concerned, the results indicate reductions in the order of 64 to 77% in 2050 compared to 2010, and the major ones are related to scenarios where there is a better conjuncture for the implementation of electric and autonomous vehicles, such as the existence of incentives for purchase or facilitating infrastructure, e.g. dedicated lanes on the roads for these cars. Local emissions of gaseous pollutants have reductions in the order of 76 to 100%. These results make it possible to affirm that the policies to encourage these new forms of mobility and the promotion of a favorable conjuncture of technological development in this area are important instruments to maximize environmental gains.

**Keywords:** Electric Vehicle, Autonomous Vehicle, Car sharing/Ride sharing, Gompertz function, Sustainable mobility.





# Índice

<b>Agradecimento.....</b>	<b>i</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>v</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>xi</b>
<b>Abreviaturas .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Secção 1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos .....	4
1.3. Organização da dissertação .....	4
<b>Secção 2. Mobilidade Elétrica.....</b>	<b>7</b>
2.1. Tipos de veículos elétricos .....	7
2.1.1. Veículos Híbridos.....	7
2.1.2. Veículos elétricos híbridos <i>plug-in</i> .....	9
2.1.3. Veículos elétricos puros .....	9
2.2. Análise comparativa entre veículos elétricos e convencionais.....	10
2.3. Difusão dos veículos elétricos .....	12
2.3.1. Perspetivas de mercado e parque automóvel.....	13
2.3.1.1. Vendas.....	13
2.3.1.2. Parque automóvel .....	15
2.3.1.3. Políticas de incentivo à mobilidade elétrica .....	18
2.3.2. Impactos sociais e tecnológicos.....	19
2.3.3. Evolução tecnológica das baterias .....	20
<b>Secção 3. Mobilidade Autónoma .....</b>	<b>23</b>
3.1. Tecnologia .....	23
3.2. Implicações sociais .....	26
3.3. Impactos sociais .....	26
3.3.1. Questões de ética e de segurança.....	26
3.4. Impactos energéticos .....	27
3.4.1. Eco driving .....	27
3.4.2. Platooning.....	28
3.4.3. Velocidade.....	28
3.4.4. Peso .....	28
3.4.5. Distância percorrida .....	29
3.5. Enquadramento legislativo .....	29
3.6. Veículos autónomos partilhados.....	30
3.6.1. Car sharing .....	30
3.6.2. Ride sharing.....	31

<b>Secção 4. Métodos .....</b>	<b>33</b>
4.1. Frota automóvel.....	33
4.1.1. Frota convencional .....	34
4.1.2. Evolução de EVs e AVs .....	34
4.1.2.1. Função Gompertz .....	34
4.1.3. Veículos autónomos partilhados.....	36
4.2. Cenários.....	36
4.2.1. Curvas de penetração.....	38
4.3. Consumo energético e emissões .....	40
4.3.1. Distribuição por via .....	40
4.3.2. Veículos convencionais .....	41
4.3.2.1. Consumo base.....	41
4.3.2.2. Projeção do consumo.....	42
4.3.2.3. Emissões .....	43
4.3.3. Veículos eléctricos .....	44
4.3.4. Veículos autónomos .....	44
4.3.4.1. Consumo por tecnologia.....	44
4.4. Enquadramento legislativo .....	45
4.5. Veículos autónomos partilhados.....	46
4.6. Valores históricos .....	47
4.7. Validação/calibração .....	48
<b>Secção 5. Resultados e Discussão .....</b>	<b>49</b>
5.1. Cenário AA .....	49
5.2. Cenário AB.....	51
5.3. Cenário BA.....	54
5.4. Cenário BB.....	56
5.5. Cenário CC.....	59
5.6. Análise global.....	61
<b>Secção 6. Conclusões.....</b>	<b>65</b>
6.1. Desenvolvimentos futuros.....	66
<b>Secção 7. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>68</b>
<b>Secção 8. Anexos.....</b>	<b>74</b>

## Índice de Figuras

Figura 1-1 - Projeção do uso final de energia nos transportes na Europa. Fonte: Comissão Europeia [5].	1
Figura 1-2 - Projeção da contribuição para as emissões nos transportes na Europa. Fonte: Comissão Europeia [5].	2
Figura 1-3 – Projeção da percentagem das vendas de EVs para várias partes do mundo até 2040. Fonte: Bloomberg [10].	3
Figura 2-1 – Ilustração do funcionamento de um veículo híbrido em série e em paralelo. Fonte: OICA [14].	8
Figura 2-2 – Ilustração do funcionamento de um veículo híbrido série/paralelo. Fonte: DrivemeOnline [15].	8
Figura 2-3 - Ilustração do funcionamento de um PHEV. Fonte: Hawaii Electric Light [17].	9
Figura 2-4 – Comparação da TCO entre um veículo a gasolina e PEV [19].	10
Figura 2-5 – Projeções do <i>stock</i> de EVs feitas em 2015 e 2016 até 2040. Fonte: Bloomberg [28].	12
Figura 2-6 – Registos anuais de PEVs. Fonte: IEA [9].	13
Figura 2-7 – Registos anuais de PHEVs. Fonte: IEA [9].	14
Figura 2-8 – Evolução do <i>market-share</i> de PEV e PHEV. Fonte: IEA[9].	14
Figura 2-9 – Vendas globais de veículos ICEs e EVs até 2040 [10].	15
Figura 2-10 – Stock anual de PEVs. Fonte: IEA [9].	16
Figura 2-11 – Evolução mundial do stock anual de PHEVs. Fonte: IEA [9].	16
Figura 2-12 – Distribuição mundial de PEVs e PHEVs em 2016. Fonte: IEA [9].	17
Figura 2-13 – Evolução do parque automóvel de veículos elétricos em Portugal. Fonte: IEA [31].	17
Figura 2-14 – Evolução da frota mundial de ICEs e EVs [10].	18
Figura 2-15 – Evolução do custo de um EV por componente comparado com o custo médio total de veículo ICE [30].	20
Figura 2-16 – Evolução do preço das baterias de ião lítio para EVs [30].	21
Figura 2-17 – Evolução da densidade energética das baterias de ião lítio para EVs [30].	21
Figura 3-1 - Sistemas de classificação autónomo NHTSA e SAE [44].	24
Figura 3-2 – Cronograma referente ao lançamento dos níveis de automação de várias marcas de automóveis. Adaptado de [45].	25
Figura 4-1 – Projeção da população ( <i>World Databank</i> ) [62], índice de motorização [63] e frota de ligeiros de passageiros até 2050 para Portugal.	33
Figura 4-2 – Exemplo da função Gompertz aplicada à evolução do <i>stock</i> de veículos elétricos na Noruega, com base na população [62] e vendas dos mesmos [9].	35
Figura 4-3 – Esquematização e designação dos cenários num sistema de eixos.	37
Figura 4-4 - Projeção da população ( <i>World Databank</i> ) [62], índice de motorização [63] e frota de ligeiros de passageiros até 2050 para Noruega e Suécia.	39
Figura 4-5 – Penetração de EVs e AVs para Portugal, Noruega e Suécia a partir da função de Gompertz.	40
Figura 4-6 - Consumo relativo à gasolina de sistemas de propulsão a gasolina e <i>Diesel</i> para 2010, 2030 e 2050. Adaptado de [56].	42
Figura 4-7 - Projeção da eficiência [56] e de consumo para o diesel e gasolina entre 2010 e 2050.	43
Figura 5-1 – Cenário AA: projeção da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.	49
Figura 5-2 - Cenário AA: Projeção do consumo energético da frota total até 2050.	50
Figura 5-3 – Partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050 no cenário AA.	50

Figura 5-4 - Cenário AA: Projeção de CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.....	51
Figura 5-5 - Cenário AB: Projeção da frota de ligeiros de passageiros em Portugal até 2050.....	52
Figura 5-6 - Cenário AB: Projeção do consumo energético da frota para Portugal até 2050. ....	53
Figura 5-7 - Cenário AB: partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050. ....	53
Figura 5-8 - Cenário AB: Projeção de CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.....	54
Figura 5-9 – Cenário BA: Projeção da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050. ....	54
Figura 5-10 - Cenário BA: Projeção do consumo energético da frota para Portugal até 2050. ....	55
Figura 5-11 - Cenário BA: Partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050. ....	56
Figura 5-12 - Cenário BA: Projeção de CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.....	56
Figura 5-13 – Cenário BB: Projeção da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050. ....	56
Figura 5-14 – Cenário BB: Projeção do consumo energético da frota para Portugal até 2050. ....	57
Figura 5-15 – Cenário BB: Partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050.....	58
Figura 5-16 – Cenário BB: Projeção de CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.....	58
Figura 5-17 - Cenário CC: Projeção da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.....	59
Figura 5-18 - Cenário CC: Projeção do consumo energético da frota para Portugal até 2050.....	60
Figura 5-19 – Cenário CC:Partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050. ....	60
Figura 5-20 - Cenário CC: Projeção de CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.....	61
Figura 5-21 - Evolução relativa a 2010 do consumo de energia final nos cenários. ....	62
Figura 5-22 - Evolução das emissões de CO <sub>2</sub> relativas a 2010 nos cenários. ....	62
Figura 5-23 – Consumo energético dos cenários em 2020, 2030, 2040 e 2050, relativos a 2010.....	63
Figura 5-24 – Consumo relativo de energia em 2050 para os vários cenários.....	63
Figura 5-25 - Penetração de AVs em 2050. ....	64

## Índice de Tabelas

Tabela 2-1 – Resumo dos incentivos a EVs em diversos países. ....	19
Tabela 4-1 – Alterações na frota de veículos convencionais (ICEs e EVs) em função da adesão aos regimes de <i>car sharing</i> e <i>ride sharing</i> .....	36
Tabela 4-2 – Caracterização dos cenários. ....	38
Tabela 4-3 – Parâmetro $\gamma$ para Noruega, Portugal e Suécia. ....	39
Tabela 4-4 – Parâmetros $k$ e $\beta$ para Noruega, Portugal e Suécia. ....	40
Tabela 4-5 – Comprimento da rede de estradas portuguesas por tipo (km) [69]. ....	41
Tabela 4-6 – Partilha de condução anual por veículo por tipo de troço. ....	41
Tabela 4-7 – Consumos por tipo de troço do Renault Clio 2010. ....	42
Tabela 4-8 – Fatores de emissão de CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> e PM 2.5 para diesel e Gasolina. Fonte: EEA [76].....	43
Tabela 4-9 – Resumo da autonomia e consumo do Nissan Leaf 2017.....	44
Tabela 4-10 – Impactos tecnológicos da tecnologia autónoma sobre o consumo de um Nissan Leaf (kWh/km). ....	45
Tabela 4-11 – Consumo de um Nissan Leaf em modo de condução autónoma parcial e total. ....	46
Tabela 4-12 – Consumo energético de AVs partilhados utilizados em modo de <i>car sharing</i> . ....	46
Tabela 4-13 - Consumo energético de AVs partilhados utilizados em modo de <i>ride sharing</i> .....	47
Tabela 4-14 – Valores históricos do consumo e emissões de CO <sub>2</sub> da frota de EV, <i>Diesel</i> e gasolina para Portugal entre 2010 e 2016.....	47
Tabela 4-15 – Comparação entre os fatores de CO <sub>2</sub> de diesel e gasolina da APA e os obtidos neste trabalho (g/km).....	48
Tabela 8-1 – Vendas anuais de PEVs (milhares). Fonte: IEA.....	74
Tabela 8-2 – Vendas anuais de PHEVs (milhares). Fonte: IEA.....	74
Tabela 8-3 – <i>Stock</i> anual de PEVs (milhares). Fonte: IEA. ....	75
Tabela 8-4 – <i>Stock</i> anual de PHEVs (milhares). Fonte: IEA. ....	75
Tabela 8-5 – Evolução do <i>market-share</i> de PEVs e PHEVs. Fonte: IEA. ....	76
Tabela 8-6 – Projeção do índice de motorização [63], população [62] e veículos ligeiros de passageiros em Portugal até 2050.....	77
Tabela 8-7 - Projeção da eficiência [56] e de consumo para veículos a Diesel entre 2010 e 2050.....	78
Tabela 8-8 - Projeção da eficiência [56] e de consumo para a veículos a gasolina entre 2010 e 2050. ....	79
Tabela 8-9 – Cenário BB: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050. ....	80
Tabela 8-10 - Cenário AA: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050. ....	81
Tabela 8-11 - Cenário AB: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050. ....	82
Tabela 8-12 - Cenário BA: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050. ....	83
Tabela 8-13 - Cenário CC: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050. ....	84
Tabela 8-14 – Cenário BB: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh). ....	85
Tabela 8-15 - Cenário AA: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh). ....	86
Tabela 8-16 - Cenário AB: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh).....	87
Tabela 8-17 - Cenário BA: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh).....	88
Tabela 8-18 - Cenário CC: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh).....	89



## **Abreviaturas**

AV – Autonomous Vehicle

EV – Electric Vehicle

HEV – Hybrid Electric Vehicle

ICE – Internal Combustion Engine

PEV – Pure Electric Vehicle

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle

SAV – Shared Autonomous Vehicle

TCO – Total Cost of Ownership

VKT - Vehicle Kilometers Travelled





## Secção 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento

Um dos temas mais abordados na atualidade é a mudança climática registada a partir do século passado. Resulta no chamado ‘aquecimento global’, produto de atividade antropogénica, como o uso dos combustíveis fósseis, o que levou a um aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e de outros gases de efeito de estufa na atmosfera, provocando a subida da temperatura média do planeta. Em 2018 o aumento contabilizava cerca de 1°C [1].

A queima de combustíveis petrolíferos, sobretudo no setor dos transportes, é o principal contribuinte para a situação. Segundo a Agência Internacional da Energia (IEA), a percentagem de produtos petrolíferos destinados à mobilidade aumentou de 52 para 76% entre os anos de 1973 e 2013 [2]. Uma das razões para esse crescimento é o aumento demográfico, em que o número de habitantes quase duplicou nesse período – a população passou de 4 para 7 mil milhões [3]. As necessidades de mobilidade, i.e., deslocação de passageiros e mercadorias, subiram em igual monta. A globalização tornou a economia mundial baseada sobretudo em trocas internacionais, e.g. bens, serviços, turismo, o que requer uma densa e evoluída rede de transportes [4].

Se as trocas internacionais são importantes no panorama do transporte, não é menos o do sector de automóveis ligeiros de passageiros, em que o consumo energético representa cerca de metade do consumo do sector na União Europeia (UE). Como mostra a Figura 1-1, as projeções apontam para que a partilha energética dos vários sistemas de transporte se mantenha constante entre modos até 2050 [5].

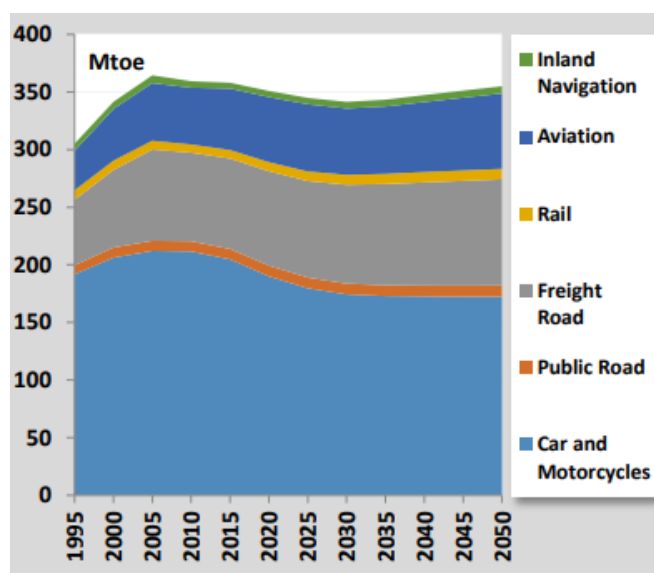


Figura 1-1 - Projeção do uso final de energia nos transportes na Europa. Fonte: Comissão Europeia [5].

Num cenário convencional, as emissões de CO<sub>2</sub> do setor deverão diminuir entre 5 e 10% em 2050 (Figura 1-2), sobretudo devido ao aumento de eficiência dos veículos convencionais. Durante o mesmo período espera-se que a emissão de gases de efeito de estufa seja predominantemente terrestre, contribuindo em cerca de 80% das emissões globais nos transportes [5].

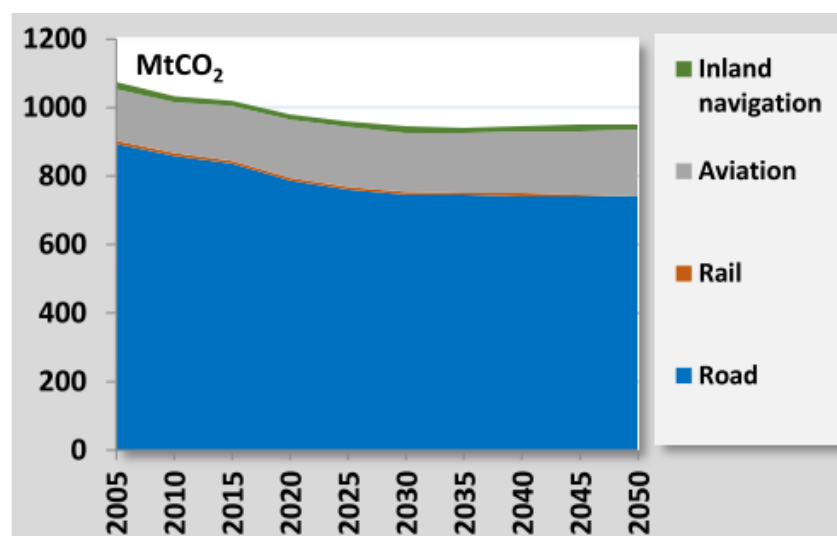


Figura 1-2 - Projeção da contribuição para as emissões nos transportes na Europa. Fonte: Comissão Europeia [5].

Ao analisar o transporte privado, verifica-se uma ineficiência deste subsector, fruto da tecnologia dos motores de combustão. Sendo o maior contribuidor para o consumo de energia no setor dos transportes, existe uma grande margem para melhoria por via de aumento na eficiência dos veículos.

O crescimento da população mundial implica maiores necessidades de mobilidade, o que resulta num consumo energético em crescendo num cenário *business-as-usual*. A continuada utilização dos veículos a combustão nestas condições leva a uma situação insustentável a nível de poluição, especialmente urbana. Várias construtoras, como a Volkswagen, Audi e Seat, adulteraram as emissões de gases poluentes ( $\text{NO}_x$  e matéria particulada) tentando contornar as entidades reguladoras, e evitar sanções. O caso *dieseldgate* foi inicialmente protagonizado pela Volkswagen em 2015. O esquema passava pela manipulação das emissões em banco de ensaio, sendo que em estrada os veículos emitiam até 40 vezes mais  $\text{NO}_x$  do que anunciado pelo fabricante [6]. A elevada poluição causada por estes veículos levaram a Alemanha a impor restrições na circulação nalgumas cidades problemáticas, nomeadamente em Estugarda e Dusseldorf [7]. No geral, o panorama nos transportes é ambientalmente abaixo do aceitável. Contudo, a mobilidade encontra-se em mudança. O desenvolvimento tecnológico dos veículos elétricos (EVs, na sigla inglesa de *Electric Vehicle*) nesta década e descida de custo, especialmente nas baterias, torna-os competitivos com os veículos com motor de combustão interna (veículos ICE, na sigla inglesa de *Internal Combustion Engine*) para uso privado. Os EVs apresentam vantagens face aos seus congéneres, nomeadamente ao nível de eficiência, que leva a menores consumos energéticos e, portanto, menos emissões implícitas de gases de efeito de estufa, bem como ausência de emissões poluentes locais.

A sociedade e os governos estão cientes do problema associado ao elevado número de veículos convencionais em circulação para transporte privado. Por isso, alguns países anunciaram a proibição de vendas de veículos ICE a partir de 2030, casos da Alemanha e Índia, enquanto a Noruega e Holanda planeiam banir as vendas já em 2025 [8]. Estes prazos não são especialmente ambiciosos, pois o crescimento das vendas de EVs, devido à sua competitividade, sugere que estes vão dominar o mercado de qualquer das formas. Até 2016 as vendas de EVs perfaziam cerca de 1% da quota de mercado mundial, o que equivale a 750 mil unidades vendidas [9]. Mas verifica-se uma subida acentuada nas vendas, e as projeções indicam que em 2040 os registos de EVs rondarão os 50 a 70% das vendas de veículos globais (Figura 1-3) [5].

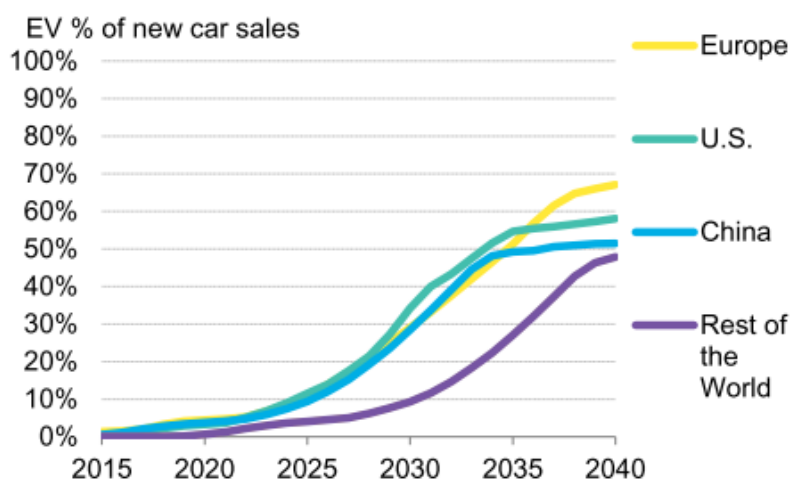


Figura 1-3 – Projeção da percentagem das vendas de EVs para várias partes do mundo até 2040. Fonte: Bloomberg [10].

Outro tema paralelo mas não desligado da mobilidade elétrica é o da automação dos veículos. A evolução tecnológica oferece a possibilidade de os veículos manobram autonomamente e interagirem com elementos na estrada comandados por software inteligente, dispensando a ação humana. Estes carros denominam-se veículos autónomos (AVs, na sigla inglesa de Autonomous Vehicles).

Potencialmente, um AV permite eliminar os excessos verificados na condução humana, não otimizada para reduzir consumos de energia e aumentar a eficiência do veículo.

A acrescentar à eletrificação e automação dos veículos, há os emergentes serviços de partilha proporcionados pelas novas tecnologias, como o car sharing e o ride sharing. Estes serviços funcionam pela partilha de veículos, em que o car sharing se baseia no aluguer de carros, enquanto que o ride sharing (ou car pooling) consiste num utilizador privado disponibilizar lugares no seu veículo para outros passageiros.

A implementação destes conceitos em larga escala pode fazer reduzir as frotas de automóveis, evitando congestionamentos sobretudo nas grandes cidades. Estes sistemas estão, contudo, atualmente contrangidos pelo fator humano, o que poderá ser ultrapassado usando veículos autónomos. De um modo geral, a mobilidade elétrica, a automação de veículos e os serviços de partilha complementam-se sinergeticamente.

Projeção e caracterização das possibilidades para a evolução da frota de ligeiros de passageiros em Portugal até 2050.

## 1.2. Objetivos

Neste contexto, a partir de uma revisão da literatura e de uma análise própria, os principais objetivos desta dissertação são:

- Projeção e caracterização das possibilidades para a evolução da frota de ligeiros de passageiros em Portugal até 2050;
- Criação de cenários segundo dois eixos principais: (1) desenvolvimento da tecnologia autónoma, que tem influência na maturidade da mesma e, consequentemente, na disponibilidade dos veículos autónomos no mercado; (2) enquadramento legislativo, com efeito na difusão de veículos elétricos e na comercialização e circulação dos veículos autónomos em estrada;
- Estimar os possíveis impactos das diferentes evoluções possíveis no consumo de energia final e nas emissões de gases com efeito de estufa.

## 1.3. Organização da dissertação

A dissertação está organizada em seis secções. A Secção 1 apresenta o enquadramento geral e motivação, assim como os objetivos a atingir com a realização deste trabalho.

Na Secção 2 é feito um enquadramento detalhado sobre a mobilidade elétrica, em particular analisando a sua evolução em vendas e *parque*. São abordadas as vantagens e desvantagens da tecnologia, e compara-se o panorama em vários países.

Na Secção 3 é discutido a mobilidade autónoma e as várias esperadas mudanças que proporcionará nos transportes e sociais. São quantificados os impactos energéticos quanto ao tipo de tecnologia, que alimentarão os cenários.

Na Secção 4 aborda-se os métodos adotados no estudo.

Na Secção 5 são apresentados os resultados dos vários cenários, contendo projeções da frota, energia e emissões.

Na última Secção é efetuada uma síntese do trabalho desenvolvido e apresentam-se as conclusões. Inclui algumas propostas de trabalho futuro.

## Secção 2. Mobilidade Elétrica

A mobilidade elétrica é fulcral no panorama mundial do transporte, possibilitando limitar as emissões de gases de efeito de estufa e a poluição local. Tem-se verificado uma evolução progressiva da tecnologia elétrica, garantindo uma maior fiabilidade dos EVs e autonomias superiores, levando a uma aposta mais incisiva por parte da sociedade.

Este capítulo caracteriza a evolução histórica da mobilidade elétrica e apresenta projeções futuras para a mesma. As mudanças sociais também são focadas.

### 2.1. Tipos de veículos elétricos

Os EVs compreendem Veículos Híbridos (HEV, na sigla inglesa<sup>a</sup> de *Hybrid Electric Vehicle*), os Veículos Híbridos *Plug-in* (PHEV, na sigla inglesa de *Plugin Hybrid Electric Vehicle*) e os Veículos Elétricos Puros (PEV, na sigla inglesa de *Pure Electric Vehicle*). Caracteriza-se cada um deles seguidamente.

#### 2.1.1. Veículos Híbridos

Os HEVs funcionam a combustível fóssil (normalmente gasolina), a eletricidade, ou ambos em simultâneo. Necessitam, portanto, dos dois tipos de motor e de um sistema de os combinar. Permite o desligar do motor ICE quando a sua utilização não é imprescindível. Possuem ainda travagem regenerativa, que aproveita a energia cinética do veículo, convertendo-a em eletricidade, de outra forma dissipada nos travões sob a forma de calor. Os dois motores que compõem um HEV funcionam combinados entre si, sendo que o motor elétrico normalmente é utilizado na fase de arranque do automóvel. Quando o pedido de potência é demasiado alto, por exemplo em aceleração intensa, entra em funcionamento o motor a gasolina [11].

Existem três tipos de sistemas para os HEV: série, paralelo e série-paralelo:

##### *Série*

O sistema em série é a configuração mais simples de um HEV, sendo a transmissão às rodas inteiramente feita por um motor elétrico. O motor é alimentado de duas formas: através de um gerador ou alternador, que converte a energia motriz de um motor gerador a combustão em eletricidade. Este pode alimentar diretamente o motor elétrico ou carregar a bateria, que normalmente é de maior capacidade que as dos outros tipos de veículos híbridos.

##### *Paralelo*

Num híbrido paralelo os dois motores estão acoplados diretamente à transmissão, fornecendo energia em conjunto ou individualmente. O motor a combustão e as rodas estão ligados mecanicamente, o que aumenta a eficiência em autoestrada. Este sistema apresenta menos componentes do que o sistema em

---

<sup>a</sup> Nesta tese são utilizadas as siglas inglesas ao invés das portuguesas por serem as comumente utilizadas na literatura científica.

série, resultando num custo inferior e maior eficiência [12]. A Figura 2-1 ilustra as diferenças entre os dois sistemas referidos.

### ***Série-Paralelo***

Um híbrido série/paralelo junta as configurações de ambos os sistemas, de modo a combinar as vantagens e minimizar as desvantagens de cada um deles (Figura 2-2). Esta configuração permite melhorar a eficiência, em que o veículo opera como um híbrido em série a velocidades baixas e em situações onde se requer velocidades superiores (e.g. autoestradas) o motor a combustão é o principal propulsor, retirando partido dos regimes em que possui mais binário.

Esta solução tecnológica é mais cara, pois é necessário um sistema de gestão complexo, assim como um gerador; no entanto a eficiência do sistema série/paralelo é superior à dos híbridos em série e paralelo, permitindo menores gastos de combustível [13].

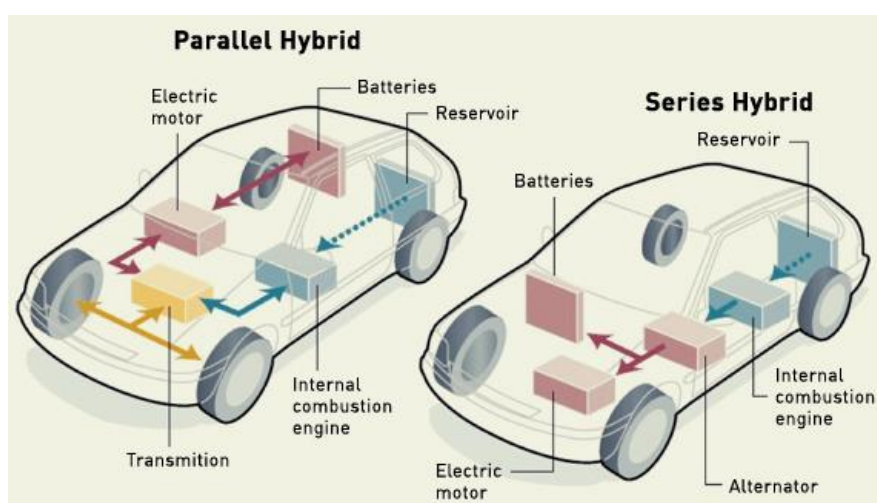


Figura 2-1 – Ilustração do funcionamento de um veículo híbrido em série e em paralelo. Fonte: OICA [14].

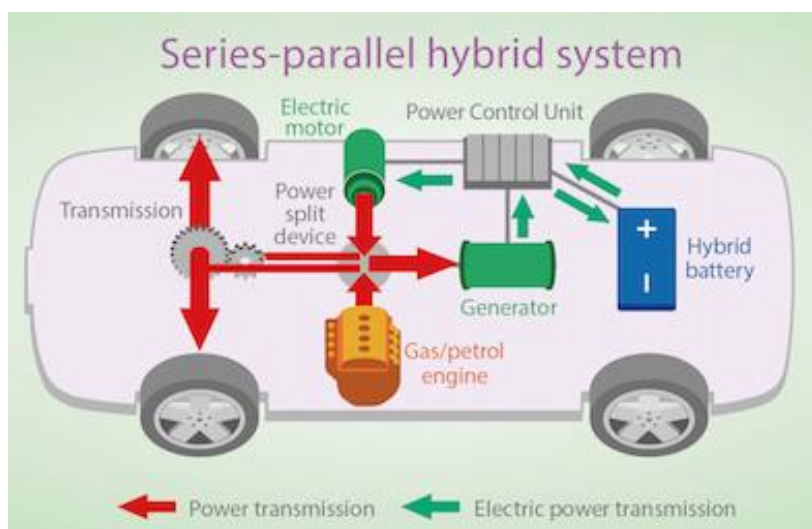


Figura 2-2 – Ilustração do funcionamento de um veículo híbrido série/paralelo. Fonte: DrivemeOnline [15].

### 2.1.2. Veículos elétricos híbridos *plug-in*

Um PHEV pode operar do mesmo modo que qualquer dos sistemas HEVs descritos anteriormente. A distinção está na forma de carregamento da bateria, que pode ser a partir da rede elétrica, por isso denominado *plug-in* (Figura 2-3).

Tipicamente a capacidade da bateria é superior, proporcionando uma autonomia elétrica consideravelmente superior face aos híbridos convencionais, sendo essa a sua principal vantagem. Alguns PHEVs possuem autonomia para 80 km em modo elétrico [16], enquanto a dos outros é de cerca de 20 km. Em viagens curtas ou médias os PHEV podem proporcionar zero emissões de escape.

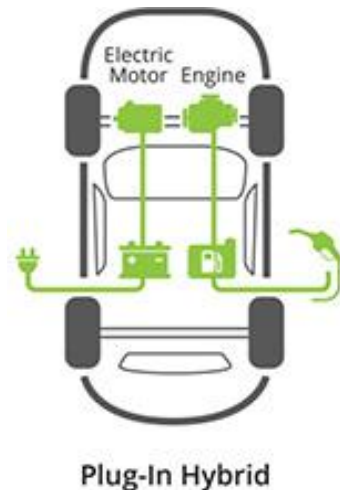


Figura 2-3 - Ilustração do funcionamento de um PHEV. Fonte: Hawaii Electric Light [17].

### 2.1.3. Veículos elétricos puros

Os PEVs distinguem-se dos anteriores porque não possuem motor de combustão, não apresentando quaisquer emissões locais. A sua autonomia é geralmente suficientemente extensa para garantir as deslocações diárias sem necessidade de recarga, variando entre os 100 e 200 km em modelos de baixa gama [18].

Numa perspetiva de *Total Cost of Ownership* (TCO) o custo global dos PEVs acaba por ser menos atrativo em comparação com o de um veículo a gasolina (Figura 2-4). Se não for tida em conta a depreciação, os papéis invertem-se, essencialmente porque o custo da eletricidade para a locomoção dos PEVs corresponde a cerca de metade do de combustível dos ICE [19].

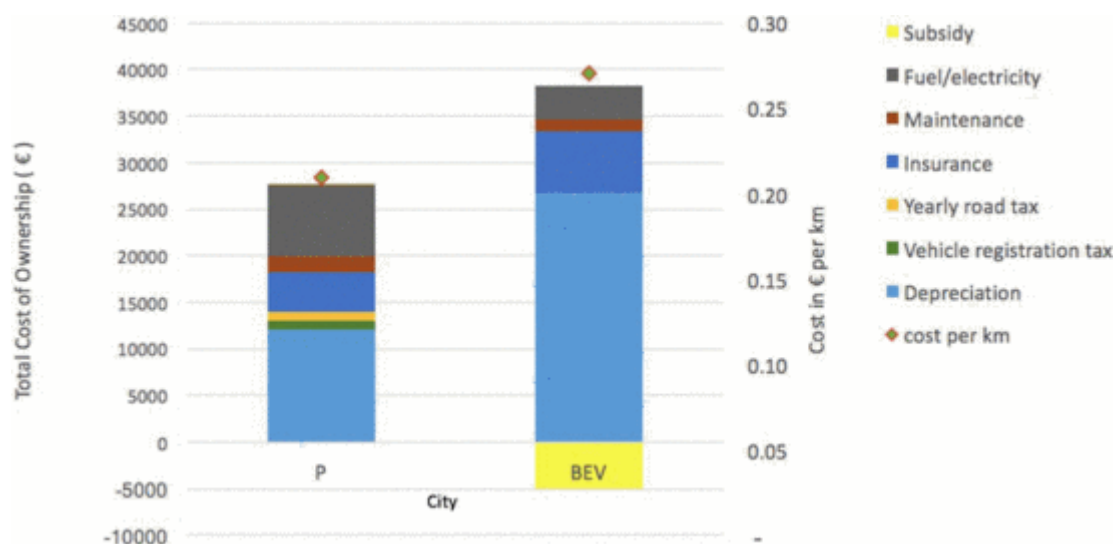


Figura 2-4 – Comparação da TCO entre um veículo a gasolina e PEV [19].

O carregamento da bateria faz-se ligando à rede e por travagem regenerativa. Por norma, existe um sistema de gestão que otimiza a carga e descarga, promovendo a longevidade das baterias. Existem modelos de PEV com uma autonomia de 400 km, como o Model X e Model S da Tesla [20].

## 2.2. Análise comparativa entre veículos elétricos e convencionais

Os EVs possuem inerentemente vantagens face aos seus congéneres ICEs, mas igualmente desvantagens; ambas resumem-se seguidamente:

### Vantagens:

- **Maior eficiência**

Numa perspetiva *tank-to-wheel*<sup>b</sup>, os carros convencionais aproveitam entre 18% e 25% da energia no tanque para a locomoção do veículo [21], enquanto que os EVs possuem um aproveitamento entre 65% e 82% da energia armazenada na bateria. No caso dos HEVs, a eficiência associada é entre os 27% e 38% [22].

- **Menos poluentes**

Os gases de exaustão não existem num veículo elétrico, nem poluição local, portanto. A única poluição atmosférica originada é por via das centrais electroprodutoras, que poderão não ser limpas. Contudo, a disseminação de energias renováveis atenua isto. O *dieselgate* trouxe à tona o grave problema ambiental dos veículos a diesel, que representam cerca de metade do parque automóvel na Europa [23].

A perda de credibilidade dos veículos diesel proporcionou um ganho de popularidade dos EVs.

<sup>b</sup>*Tank-to-Wheel* corresponde à energia transferida para as rodas do veículo relativamente à disponibilizada no tanque de combustível, levando em conta as perdas por ineficiências (calor, atrito mecânico, etc.).



- **Menos ruidosos**

Os motores elétricos operam silenciosamente, pois não existe explosão como no ciclo de Otto de um motor convencional. Tal tem implicações positivas na saúde e bem-estar das populações, nomeadamente urbanas.

- **Baixos custos de manutenção**

Os motores dos EVs são mais simples e possuem menos peças que os dos seus congéneres convencionais, e a sua movimentação não exige a mesma lubrificação, resultando em custos de manutenção reduzidos. Do ponto de vista do TCO, os custos de manutenção e reparações dos EVs podem chegar a ser 60% inferiores quando comparados com os dos ICE [24].

A bateria é o elemento que exige maior atenção num EV, por ser cara e por eventualmente não se adequar ao tempo de vida do veículo. A sua degradação é influenciada por vários fatores, como a temperatura exterior, o sobrecarregamento, ou a sua descarga total. A sua capacidade é traduzida por ciclos, sendo que um ciclo inicia-se no momento de carga da bateria terminando na sua descarga. O número de ciclos até a capacidade de carga se reduzir consideravelmente (20% ou mais) oscila tipicamente entre os 300 e os 1 200 [25]. Considerando uma média de 750 ciclos e uma autonomia de 180 km por ciclo, isto traduz-se num total de 135 mil quilómetros por bateria. Considerando que anualmente um veículo percorre 12 500 km em média, é possível que o tempo de vida da bateria se estenda até aos 11 anos. No entanto, uma utilização menos regrada da mesma reduz o seu tempo de vida para os 7 anos.

## **Desvantagens:**

- **TCO**

No atual mercado automóvel o TCO dos EVs é de 58 mil euros para um período de 20 anos, muito superior aos 40 mil euros dos veículos ICE. Isto deve-se ao custo de aquisição, que nos modelos elétricos é de cerca de 25 mil euros em média (contabilizando incentivos governamentais), contra 15 mil euros dos convencionais [24].

Apesar de a bateria necessitar de pouca manutenção durante o tempo de vida, a sua substituição deve ser tida em conta, e deve ocorrer quando a sua capacidade baixa para, no máximo, dois terços da original (tipicamente entre os 7 e os 10 anos). O custo de uma bateria nova atualmente ascende aos 4 500 euros [26].

- **Autonomia**

Apesar dos anúncios da Tesla e de outros construtores que referem modelos com maiores autonomias, a tecnologia típica atual não permite obter alcances que tornem os EVs competitivos com os ICEs.

Porém, os indicadores apontam que a médio prazo atingir-se-ão autonomias aceitáveis, capazes de satisfazer as necessidades diárias de um utilizador, sem provocar o *range anxiety*. Num período de cinco anos deverão entrar no mercado vários modelos com autonomias superiores a 400 km [27].

- **Tempo de carregamento**

O carregamento das baterias é demorado, ao contrário do caso dos ICE, que implicam poucos minutos no enchimento do depósito. O carregamento na sua totalidade em residências pode demorar horas, sendo necessário um planeamento cuidado por parte do utilizador. A redução desta desvantagem passa pela melhoria da tecnologia e no alargamento da rede de postos de carregamento públicos rápidos.

### 2.3. Difusão dos veículos elétricos

O setor dos transportes encontra-se no início de um período de transição em que a substituição dos veículos convencionais por elétricos ocorrerá de forma gradual. As projeções iniciais para a mobilidade elétrica segundo vários *think tanks* internacionais indicavam uma evolução progressiva pouco acelerada, contudo essas projeções revelaram-se conservadoras, visto as vendas terem excedido essas expectativas. Exemplo disso são as diferenças verificadas entre as projeções efetuadas em 2015 e 2016 feitas pela Bloomberg. A previsão mais recente do *stock* de EVs contempla quase seis vezes mais veículos que a anterior (Figura 2-5) [28].

Contudo, apesar de uma rápida ascensão dos EVs nas vendas num curto espaço de tempo, a penetração de veículos elétricos não é superior a 1% do parque automóvel [29].

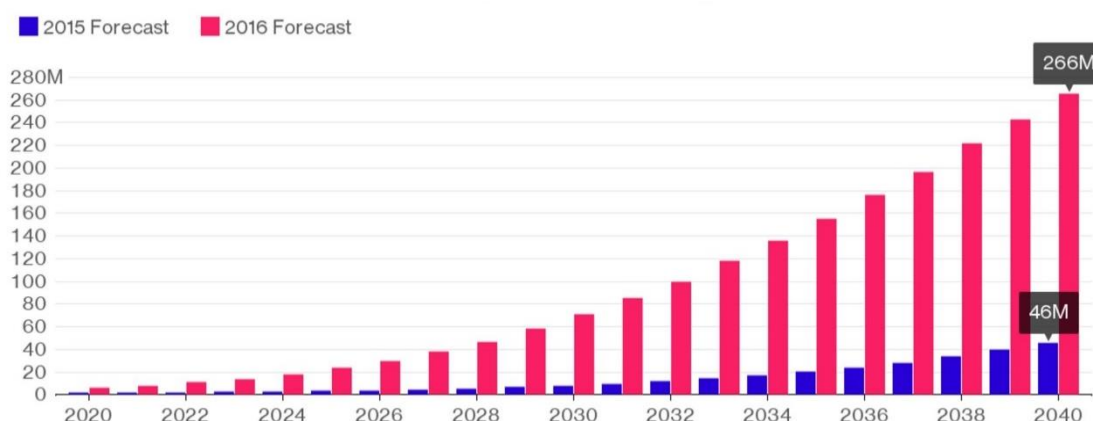


Figura 2-5 – Projeções do *stock* de EVs feitas em 2015 e 2016 até 2040. Fonte: Bloomberg [28].

O crescimento das vendas de veículos elétricos está dependente de fatores tecnológicos, económicos e sociais. Nestes fatores incluem-se políticas de incentivo governamentais, com um papel determinante nas vendas, quer por intermédio de custos de aquisição mais baixos, quer pela redução de taxas de circulação ou estacionamento.

## 2.3.1. Perspetivas de mercado e parque automóvel

### 2.3.1.1. Vendas

Na Figura 2-6 estão representadas as vendas de PEVs anuais em vários países do mundo inteiro, em que se constata que 2011 foi o ano em que os EVs começaram a ganhar expressão. As vendas de PEVs nesse ano foram cinco vezes superiores ao ano transato, enquanto que as vendas de PHEV (Figura 2-7) subiram de forma significativa em 2012, com cerca de 60 mil vendas, mais 575% que em 2011. Em 2015 o número de vendas ascendeu aos 550 mil veículos elétricos (PEV e PHEV), e 2016 conta com 750 mil unidades registadas, sendo que 90% destes foram vendidos na China, Estados Unidos, Holanda, Noruega, Reino Unido, Japão, Alemanha e França.

Os Estados Unidos e a China destacam-se nas vendas. Nestes mercados, estas vendas representam 0,7 e 1% dos veículos registados, respetivamente. A Noruega é o país com maior penetração de vendas de veículos de natureza elétrica. Os números da Figura 2-8 mostram um crescimento acentuado, chegando aos 28,7% de quota. Segue-se a Holanda, com um aumento de 9,74% em 2015, sofrendo uma queda no ano seguinte para os 6,39%.

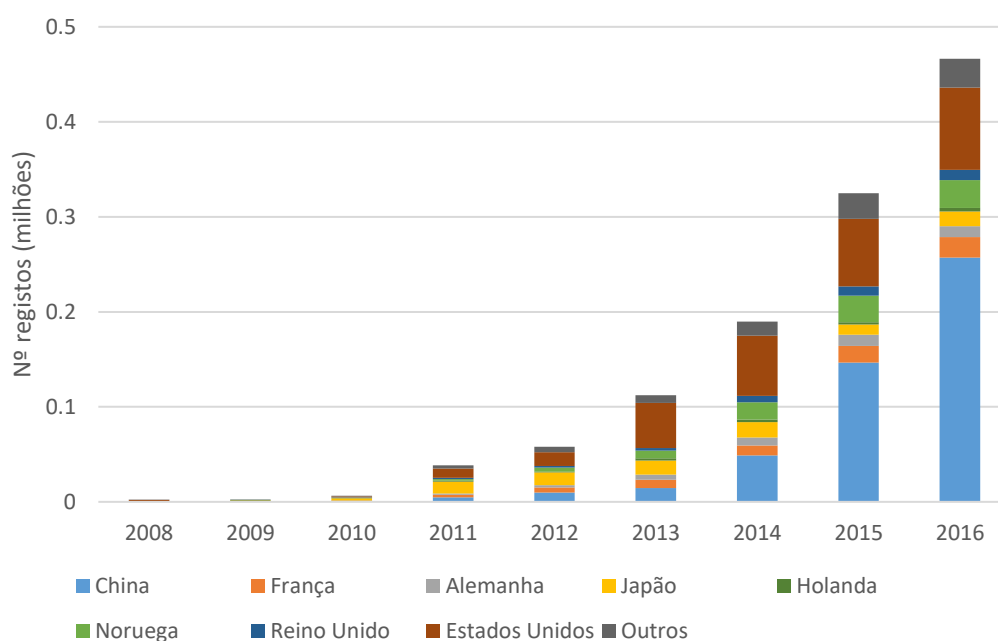


Figura 2-6 – Registos anuais de PEVs. Fonte: IEA [9].

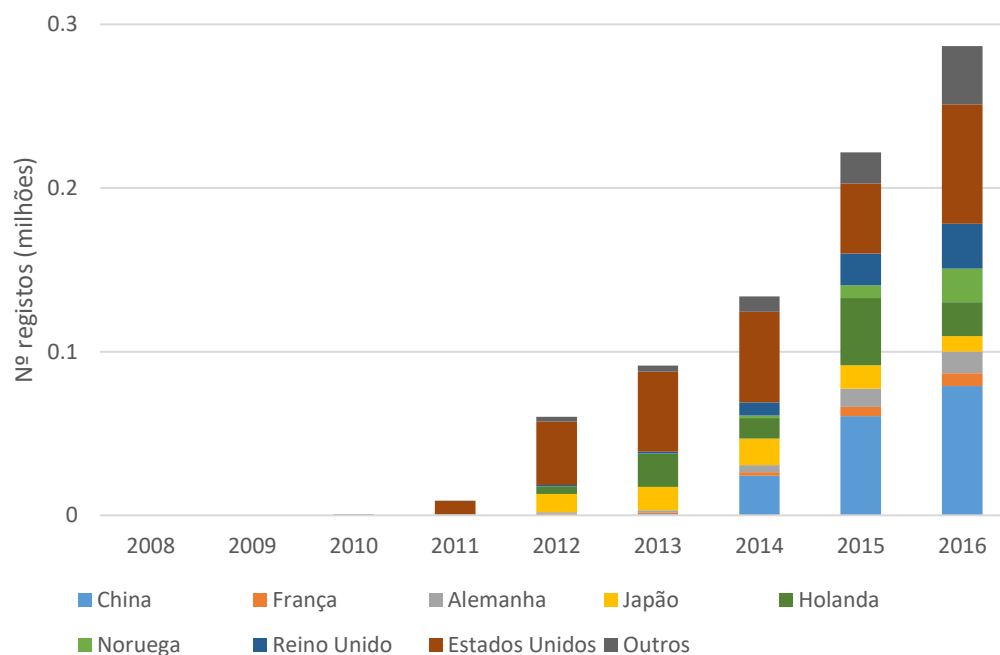


Figura 2-7 – Registos anuais de PHEVs. Fonte: IEA [9].

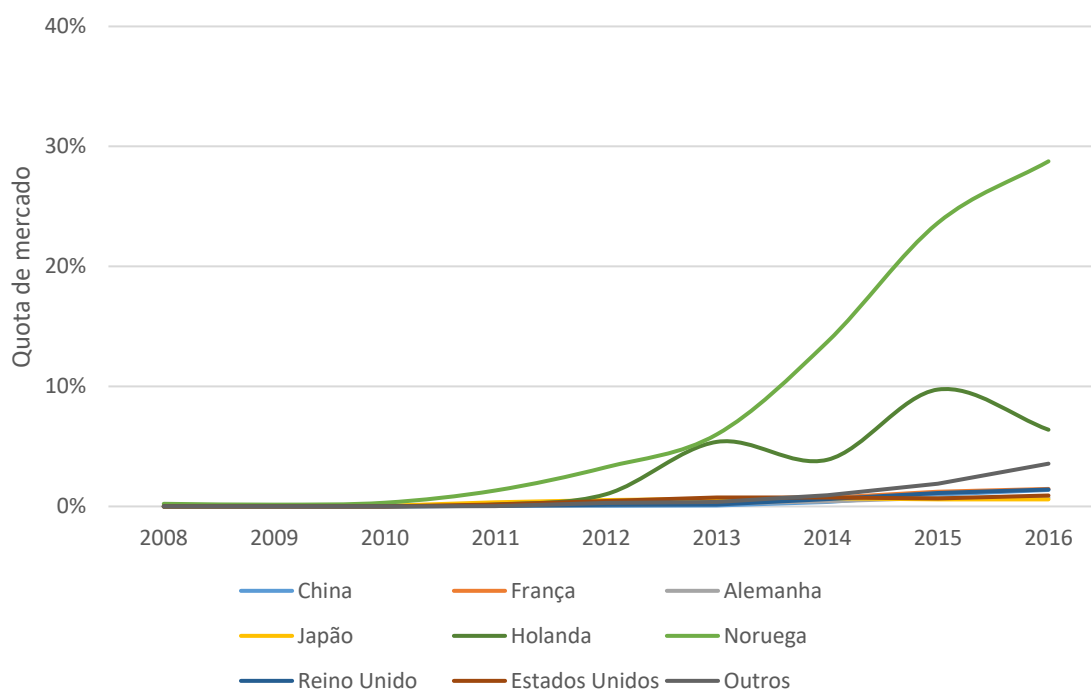


Figura 2-8 – Evolução do market-share de PEV e PHEV. Fonte: IEA[9].

Grande parte dos indicadores apontam para que durante a próxima década o número de veículos elétricos vendidos anualmente aumente exponencialmente graças à *paridade* entre elétricos e ICE no custo total de posse, a ocorrer expectavelmente entre 2023 e 2025 [30]. A partir deste período o aumento das vendas de EVs deverá acentuar-se, projetando-se um *market-share* de 54% em 2040 (Figura 2-9) [10].

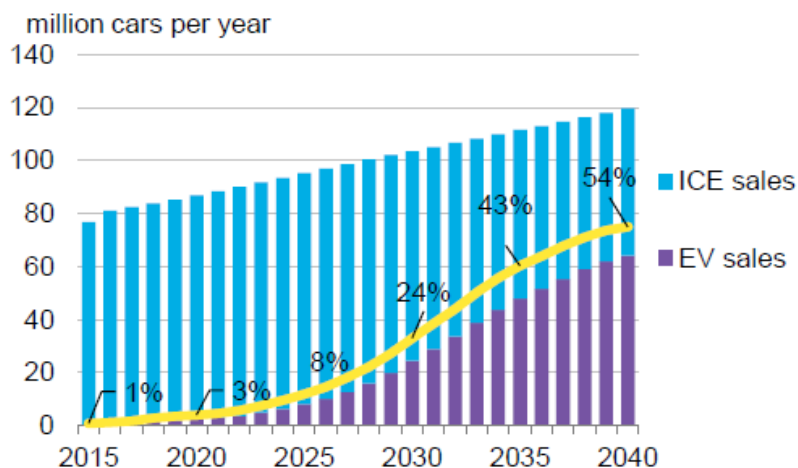


Figura 2-9 – Vendas globais de veículos ICEs e EVs até 2040 [10].

### 2.3.1.2. Parque automóvel

Como reflexo das vendas mundiais em 2011, face a 2010 o número de PEVs quintuplicou praticamente para as 50 mil unidades. Os valores duplicaram nos anos seguintes, com a exceção do ano de 2015, em que se verificou uma ligeira desaceleração do crescimento; no final desse ano, havia cerca de 740 mil veículos elétricos em circulação. Em 2016 o crescimento do parque automóvel elétrico subiu 64%, perfazendo 1 milhão e 200 mil carros (Figura 2-10).

O *stock* de híbridos *plug-in* atingiu números representativos a partir de 2011, com cerca de nove mil carros em circulação (Figura 2-11). Nos anos seguintes os valores dispararam, atingindo cerca de 500 mil veículos a circular no ano de 2015 e 800 mil no ano seguinte.

No ano de 2015 atingiu-se a marca mundial de um milhão de veículos elétricos em circulação. Apesar de os PHEV aparecerem no mercado mais tarde que os PEVs, a sua elevada progressão nas vendas permitiu acompanhá-los. No final de 2016, o *stock* total de viaturas elétricas ultrapassou as 2 milhões de unidades, quase que duplicando o valor do ano transato.

Atualmente o número de veículos elétricos encontra-se distribuído de igual forma pela América do Norte, Ásia e Europa, destacando-se a China, Estados Unidos, Japão, Noruega e Holanda (Figura 2-12).

Em Portugal a evolução do *stock* de EVs tem ocorrido de uma forma lenta, quando comparado com outros países europeus. A introdução no mercado de PHEVs parece ter acelerado o crescimento das vendas: em 2015 observou-se um aumento de 140% face a 2014, atingindo os 2 mil veículos em circulação. No ano 2016 o avanço abrandou, embora quase tenha dobrado o número de carros, chegando às 3,9 mil unidades. A distribuição do parque automóvel está igualmente repartida entre PEVs e PHEVs (Figura 2-13).

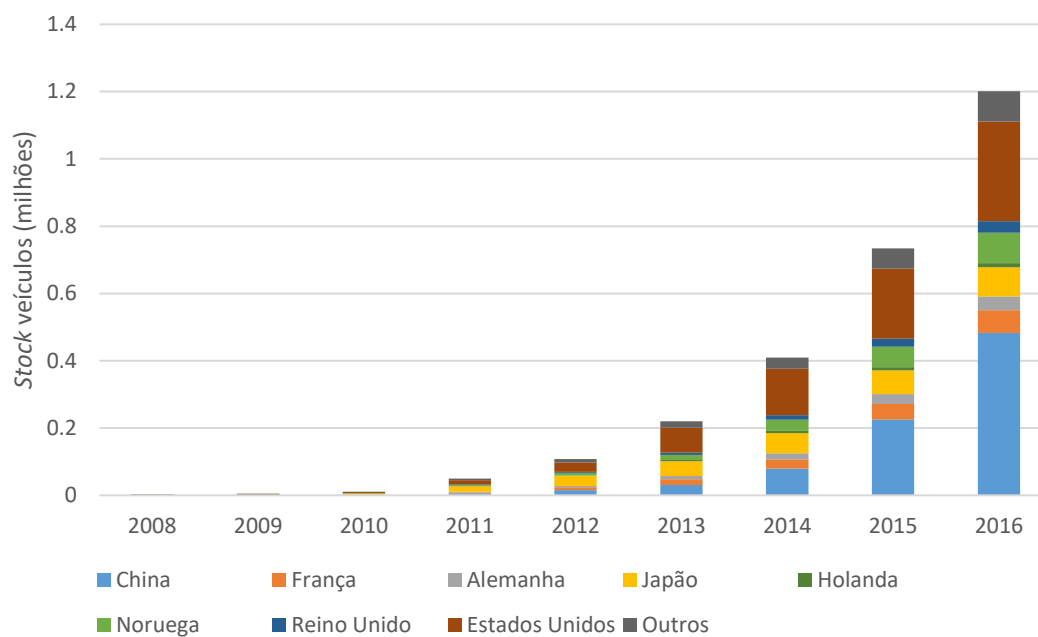


Figura 2-10 – Stock anual de PEVs. Fonte: IEA [9].

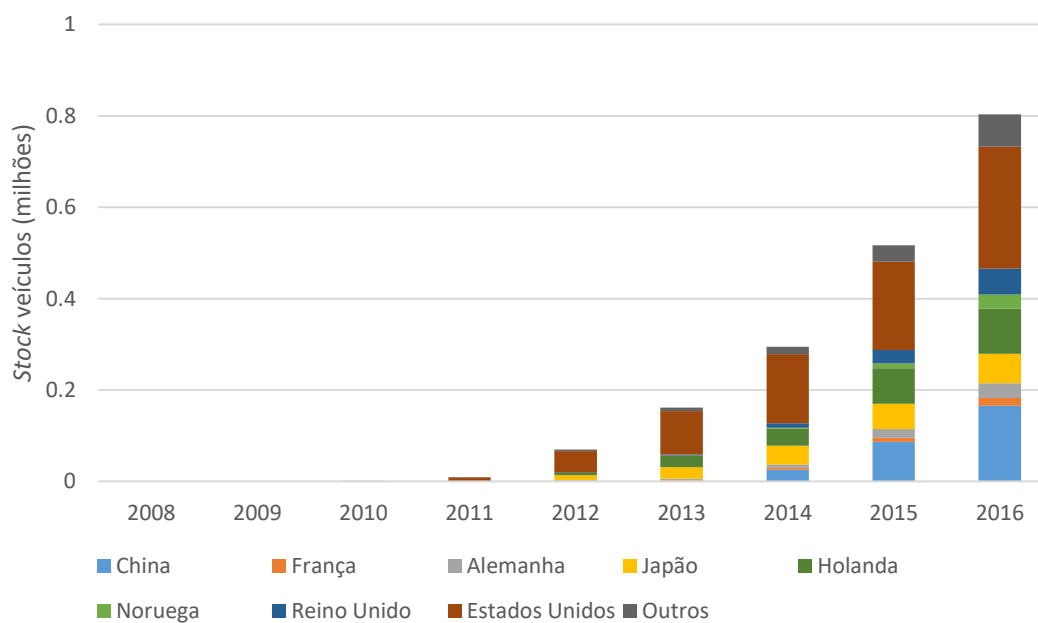


Figura 2-11 – Evolução mundial do stock anual de PHEVs. Fonte: IEA [9].

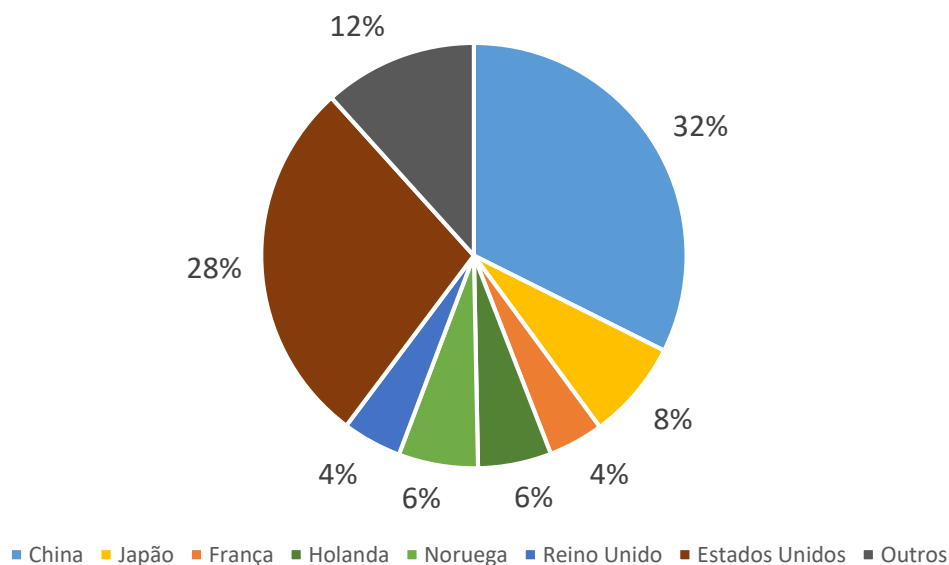


Figura 2-12 – Distribuição mundial de PEVs e PHEVs em 2016. Fonte: IEA [9].

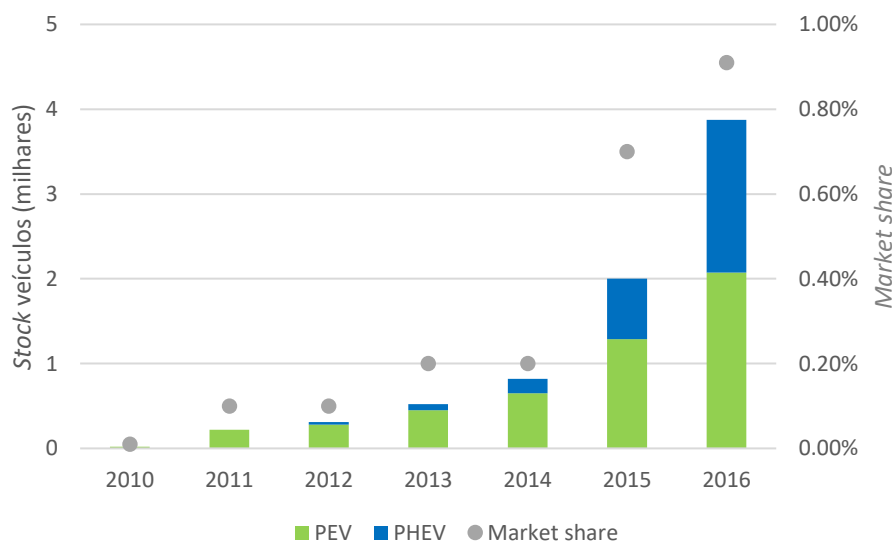


Figura 2-13 – Evolução do parque automóvel de veículos elétricos em Portugal. Fonte: IEA [31].

As projeções sugerem que a frota mundial de veículos elétricos atinja os 33% em 2040 (Figura 2-14) [10]. Contudo, a penetração de EVs pode suplantiar as atuais projeções, uma vez que as vendas excederam as projeções diversas vezes.

A complexidade da tecnologia dos PHEVs induz um incremento nos custos de aquisição e manutenção, quando comparado com os demais sistemas. Apesar da sua importância na transição para uma mobilidade isenta de emissões poluentes, é expectável que a médio-longo prazo os PEVs se tornem a principal presença no parque automóvel [10].

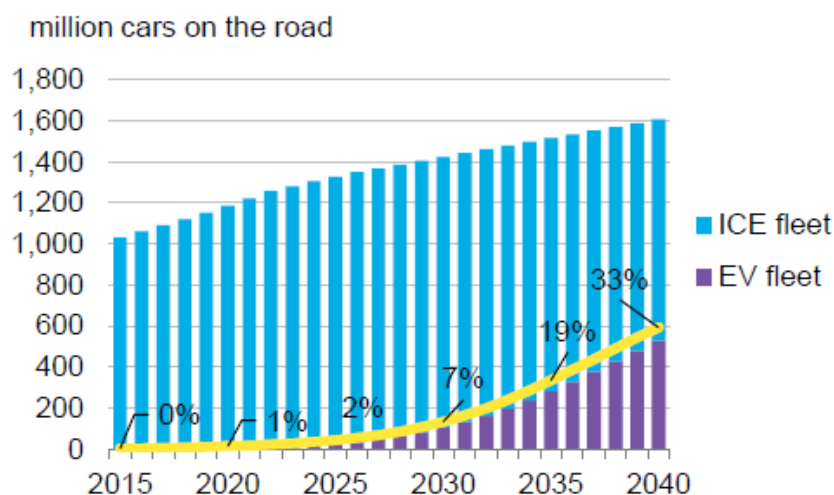


Figura 2-14 – Evolução da frota mundial de ICEs e EVs [10].

### 2.3.1.3. Políticas de incentivo à mobilidade elétrica

A difusão no mercado de veículos elétricos encontra-se dependente de fatores de escala; por isso, como em todas as tecnologias emergentes que representam valor acrescentado para a sociedade, é importante a existência de incentivos governamentais à aquisição, bem como fiscais e sociais. Medidas desta natureza podem revelar-se benéficas na evolução da mobilidade elétrica, destacando-se o exemplo da Noruega (pormenorizado a seguir), em que as bonificações e os apoios financeiros tornam atrativa a aquisição de um veículo elétrico face aos veículos convencionais, conseguindo obter mais de 28% da quota de mercado em 2016.

De seguida apresenta-se o panorama para várias regiões do mundo.

#### *Europa*

A Noruega destaca-se dos demais países por apresentar um conjunto de incentivos que tornam os custos globais de um carro elétrico similares aos de um veículo convencional. O governo instituiu 25% de isenção no imposto de valor acrescentado (IVA), para além de reduções no imposto de circulação. Por outro lado, as taxas sobre veículos muito poluentes são agravadas e os veículos elétricos têm acesso às faixas de rodagem afetas ao transporte público, para além de o estacionamento ser gratuito em parques municipais [32].

Quando comparado com o pacote de incentivos da Noruega, o de Portugal revela-se tímido. Em 2017 foi atribuído pelo Fundo Ambiental um cheque de 2 250 euros aos primeiros mil compradores de veículos elétricos. Os veículos totalmente elétricos estão isentos de Imposto Sobre Veículos (ISV), e os veículos híbridos *plug-in* tem uma redução de 562,50 euros. O Imposto Único de Circulação (IUC) é igualmente bastante reduzido para carros elétricos [33].

Outros países destacam-se nos incentivos oferecidos ao consumidor, caso de França, em que o pacote de incentivos possibilita obter um cheque até 10.000 euros na compra de um veículo emissões zero, ou a Holanda, em que as ajudas consistem principalmente na redução ou isenção do IUC e no ISV [32].



### **Estados Unidos**

Os Estados Unidos destacam-se no número de veículos elétricos vendidos, embora a quota de mercado não ultrapasse o 1%. Os incentivos à compra de carro elétrico e taxas relacionadas variam entre estados, exceto o *federal purchase incentive*, em vigor desde 2010, que prevê um subsídio de 7 500 dólares na aquisição de um PEV ou PHEV [34].

### **China**

O agravamento da poluição atmosférica na China levou o governo a tomar medidas drásticas, como um plano para a eletrificação em massa da frota de veículos. Os incentivos à aquisição de veículos elétricos são a isenção do IVA, redução do ISV em 50% e a importação ser isenta de taxas de alfândega [35].

A Tabela 2-1 resume os incentivos descritos anteriormente.

Tabela 2-1 – Resumo dos incentivos a EVs em diversos países.

	<b>Incentivo na aquisição</b>	<b>IVA</b>	<b>IUC</b>	<b>ISV</b>
Portugal	€2.250	-	€8 - 36	Isento
Noruega	-	Isento	Isento	-
França	€10.000	-	-	-
Holanda	-	-	Isento	Graduado
EUA	€6.300	-	-	-
China	-	Isento	-	-50%

## **2.3.2. Impactos sociais e tecnológicos**

A mudança de paradigma na mobilidade por via dos EVs terá impactos em diferentes áreas. Possibilitarão, por exemplo, consumos globais do setor dos transportes inferiores aos verificados atualmente, com menores emissões associadas de CO<sub>2</sub>. Numa perspetiva *well-to-wheels*, os EVs apresentam metade das emissões dos veículos convencionais [36]. Os EVs possibilitarão ainda, por não terem emissões de escape, melhor qualidade do ar, sobretudo em zonas de elevado tráfego. A longo prazo, com o aumento da penetração de energia renovável, será possível abolir quase completamente as emissões ao longo de todo o ciclo.

O setor dos transportes consome 60% da produção global de petróleo (51 milhões de barris por dia [37]), dos quais 52% têm como destino abastecer os veículos ligeiros de passageiros [38]. A massificação dos EVs é uma ameaça para a economia petrolífera.

A eletrificação das frotas de automóveis irá implicar a criação de postos de recarga destes veículos em larga escala. Também os postos de combustíveis convencionais terão de se readaptar, de forma a acompanhar a tendência e permitirem o carregamento de EVs, nomeadamente de forma rápida [39].

Com o aumento da penetração de EVs esperam-se impactos nas redes de distribuição de eletricidade nas alturas em que os carregamentos são efetuados em simultâneo. A carga diária típica e a sua distribuição poderão ser diferentes da atual, e serão necessários ajustes no fornecimento de eletricidade de forma a garantir a qualidade do serviço. Existe potencial para conciliar os picos de carregamento com as alturas em que a penetração de energias renováveis é maior, através das redes inteligentes

(*smart grids*). De futuro será plausível através da introdução destas a existência de trocas de energia V2G (*Vehicle to Grid*), V2V (*Vehicle to Vehicle*) e V2H (*Vehicle to Home*) [40].

### 2.3.3. Evolução tecnológica das baterias

Esta secção aborda as perspectivas de evolução para as baterias dos EVs. Atualmente é a componente com maior influência no custo final destes veículos, sendo importante na difusão da tecnologia.

#### *Custo/energia das baterias*

Os custos globais (custo total de posse) de um veículo elétrico superam ainda em cerca de 50% os custos de um veículo convencional. Em 2016 o sistema de baterias tinha uma contribuição de 48% no custo total de um carro elétrico (Figura 2-15), tornando-o o principal fator para o preço elevado [30]. Prevê-se uma redução progressiva dos custos das baterias até 2030, e, até lá, os benefícios estatais à mobilidade elétrica são vitais para dinamizar as vendas.

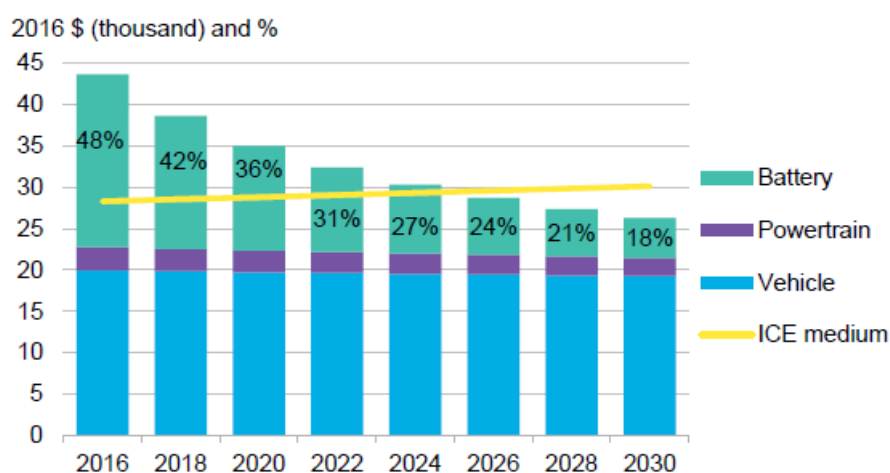


Figura 2-15 – Evolução do custo de um EV por componente comparado com o custo médio total de veículo ICE [30].

O custo médio das baterias de lítio usadas nos EVs encontra-se presentemente nos \$270 por kWh, mas segundo as projeções esse valor poderá baixar aos \$109/kWh em 2025 e \$73/kWh em 2030 (Figura 2-16). Tendo em conta que as baterias representam uma larga parte dos custos globais de um automóvel elétrico, então os veículos elétricos concorrerão com os convencionais em pé de igualdade sensivelmente a partir de um custo de bateria de \$100/kWh. Economias de escala e melhoramentos de eficiência de produção poderão permiti-lo já desde 2020 [41].

A densidade energética é outro fator importante na competitividade dos carros elétricos, estimando-se que em 2030 a densidade das baterias dobre os valores atuais, e supere os 200 Wh/kg (Figura 2-17) [30].

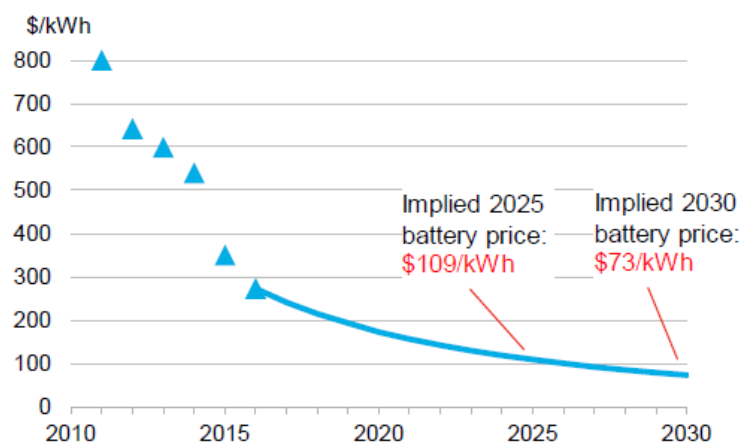


Figura 2-16 – Evolução do preço das baterias de ião lítio para EVs [30].

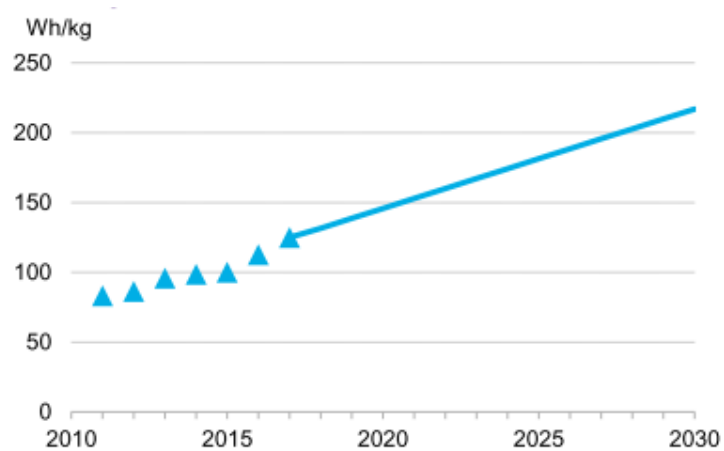


Figura 2-17 – Evolução da densidade energética das baterias de ião lítio para EVs [30].



## Secção 3. Mobilidade Autônoma

Até ao início da presente década, o conceito de veículo autónomo era visto como uma tecnologia de futuro, disponível eventualmente a partir de 2030. Contudo, os avanços tecnológicos nesta área ultrapassaram as expectativas, permitindo a comercialização já no presente de modelos com algumas características autónomas.

Este capítulo servirá para melhor caracterizar a definição de veículo autónomo, quantificar eventuais diferenças a nível energético para um veículo elétrico comum e descrever alguns impactos possíveis da tecnologia na sociedade e no transporte privado.

### 3.1. Tecnologia

De forma a categorizar a tecnologia autónoma quanto à sua complexidade e grau de autonomia, foram criados dois sistemas de classificação. A *Society of Automotive Engineers* (SAE) e a *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) classificaram a automação segundo vários níveis que descrevem as principais funcionalidades do sistema que compõe o veículo, tais como assistência na travagem e manuseio do veículo. Ambos os sistemas começam no nível 1 e são similares até ao nível 3. Porém nos níveis mais altos de automação, existem algumas diferenças. A classificação SAE possui cinco níveis, enquanto que a NHTSA possui quatro, sendo que o nível 4 engloba os dois últimos níveis da classificação SAE, considerando o veículo totalmente autónomo (Figura 3-1).

Os cinco níveis são [42][43]:

- **Nível 0:** O condutor controla todos os processos de condução.
- **Nível 1:** A condução necessita de ação humana para a maior parte das funções, embora o veículo possua a capacidade de acelerar e controlar a velocidade automaticamente.
- **Nível 2:** Os sistemas do veículo possibilitam a independência do mesmo, em certas condições através do *cruise control* e *lane-centering*, que mantém o veículo na faixa de rodagem. Ainda assim, é necessário o condutor esteja atento e possa tomar controlo do veículo em qualquer circunstância.
- **Nível 3:** O veículo é capaz de assumir o controlo em grande parte das situações, embora seja necessária a supervisão do condutor. A maior dificuldade do desenvolvimento da tecnologia passa pela monitorização do ambiente em redor e tomar decisões, sendo o elemento chave para a evolução da tecnologia do nível 2 para o 3.
- **Nível 4:** O veículo é considerado totalmente autónomo, conseguindo responder a quase todo o tipo de cenários de condução; mesmo que o condutor não reaja, o sistema consegue tomar controlo. Porém o veículo pode não responder da forma mais adequada em situações muito específicas.
- **Nível 5:** O veículo consegue operar em quaisquer condições, mesmo em ambientes extremos e face a obstruções na estrada, da mesma forma ou melhor que um condutor humano.

Os veículos autónomos distinguem-se ainda em duas categorias, denominadas de ‘parcialmente autónomos’ e ‘totalmente autónomos’. A primeira descreve veículos com a capacidade de efetuar determinadas manobras (*cruise control* ou estacionamento automático), sempre com o supervisionamento do condutor, sendo tipicamente veículos de nível 1 a 3. A segunda implica que o veículo tem a capacidade de se auto-conduzir, libertando o condutor dessa função, representando veículos de nível 4 ou 5. A Figura 3-1 é uma ilustração do referido.

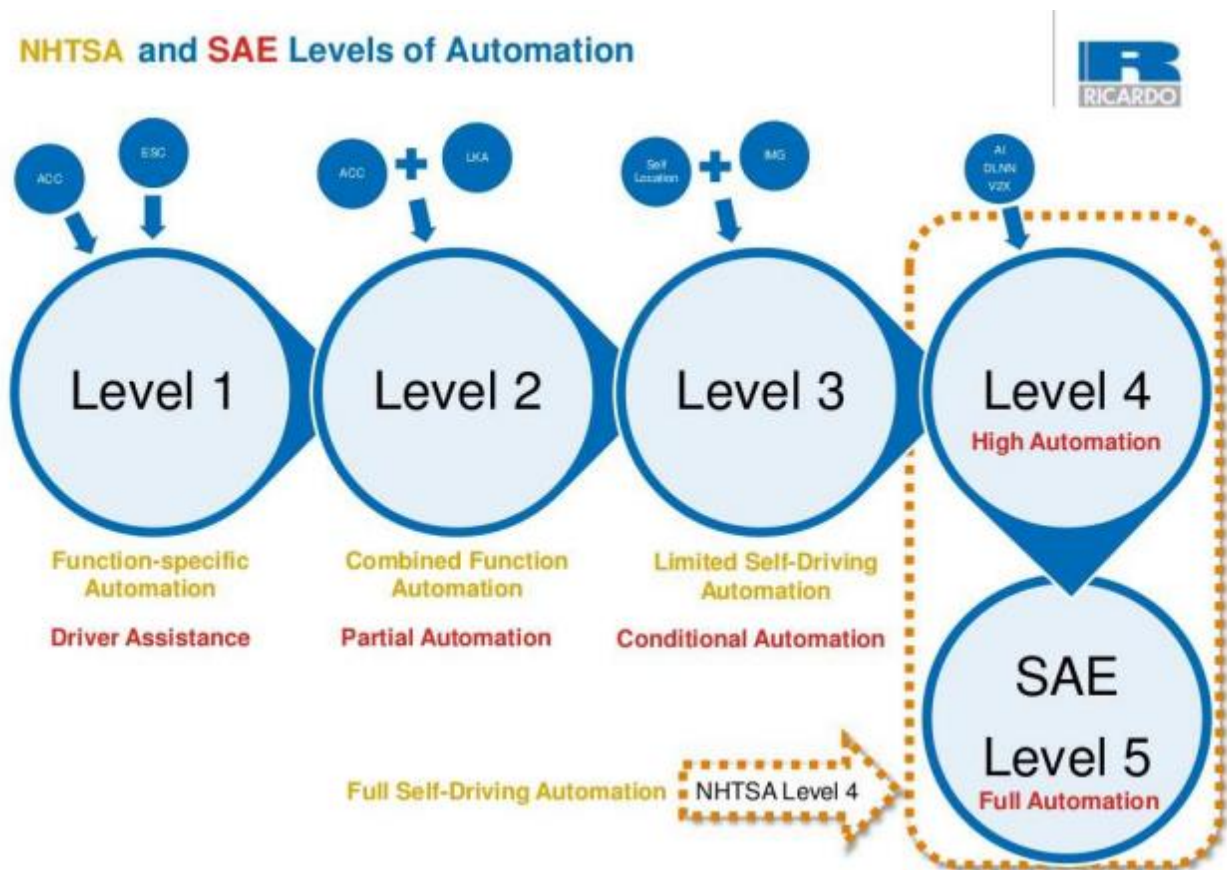


Figura 3-1 - Sistemas de classificação autônomo NHTSA e SAE [44].

Vários construtores de automóveis encontram-se em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento da tecnologia autônoma, privilegiando a segurança, tornando os veículos capazes de atuar em qualquer circunstância, tomando decisões melhores do que um condutor humano. A Figura 3-2 contém um cronograma que apresenta as previsões referentes à evolução da tecnologia autônoma em função dos níveis de algumas marcas de automóveis.

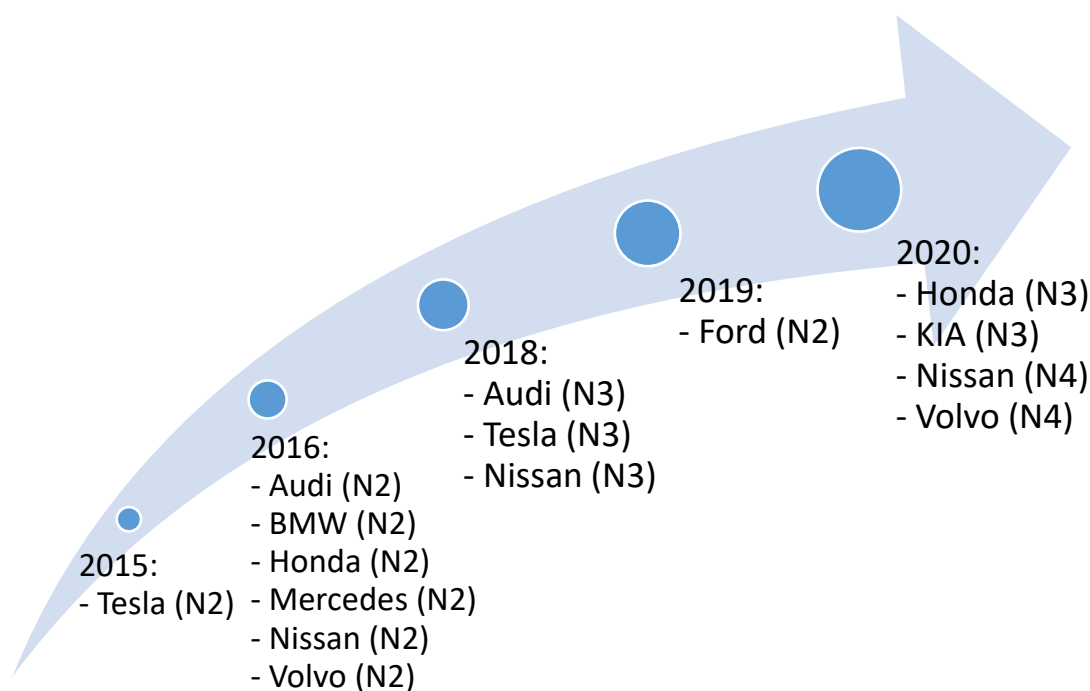


Figura 3-2 – Cronograma referente ao lançamento dos níveis de automação de várias marcas de automóveis. Adaptado de [45].

A estimativa dos principais construtores será que no princípio da próxima década vários serão os modelos de automóveis disponíveis com tecnologia suficientemente desenvolvida para condução autónoma em nível 4 ou 5. Contudo, um dos grandes obstáculos será a criação de legislação que permita a circulação desde tipo de veículos. Existem outros fatores que podem abrandar a difusão destes veículos. De modo a potenciar ao máximo as funcionalidades de automação, é necessária uma adaptação e criação de infraestruturas, como estradas onde eventualmente apenas circulem veículos autónomos. A aceitação social também é crítica, especialmente a confiança numa ‘condução sem mãos’ a 100%.

Um veículo autónomo necessita de componentes e sistemas tecnológicos mais avançados que os encontramos nos veículos atuais. Isto pode levar a um preço de aquisição demasiado elevado, a menos que economias de escala o obviem [46]. Os equipamentos base diferenciadores destes veículos são:

- Transmissão automática.
- Sensores (Óticos, infravermelhos, radar, ultrassónicos ou laser).
- Redes *wireless* de comunicação veículo-para-veículo e acesso a mapas, tráfego e mensagens de emergência.
- Sistema de navegação avançados (GPS).
- Sistema de controlo autónomo.

### **3.2. Implicações sociais**

Os AVs oferecem benefícios na condução e no aproveitamento do tempo em viagem pelos passageiros, tais como:

#### ***Segurança***

Ao permitir que o veículo tome as decisões numa viagem aumenta-se a segurança rodoviária, já que grande parte dos acidentes de automóveis são provocados por erro humano. Estima-se que num futuro em que os veículos autónomos representem a maior parte das frotas automóveis, as colisões na estrada se reduzam de 75% a 90% [47]. A reduzida taxa de acidentes irá permitir poupanças; no caso de Portugal, os acidentes rodoviários representaram 15 mil milhões de euros num espaço de 10 anos [48].

#### ***Mais tempo livre***

A possibilidade duma condução mãos-livres liberta o condutor/utilizador do veículo para ocupar o tempo em viagem com outras tarefas, nomeadamente de lazer e/ou de cariz profissional.

#### ***Maior número de utilizadores***

O veículo autónomo permite maior acessibilidade ao serviço de transporte, permitindo a qualquer pessoa utilizá-lo, independentemente da sua idade, condição física ou detenção de carta de condução. Espera-se que a adoção em massa de veículos autónomos permita acesso à mobilidade rodoviária para crianças, idosos e pessoas com deficiência física.

#### ***Eficiência***

A condução autónoma permite otimizar os ciclos de condução e reduzir o tempo despendido em viagem, com redução do consumo energético dos veículos.

### **3.3. Impactos sociais**

Sem a dependência de ação humana na condução do veículo é possível aproveitar o tempo ‘desperdiçado’ em viagens. O tempo despendido na deslocação para o local de trabalho pode ser usado para atividades profissionais, fazendo aumentar a produtividade. Por outro lado, o percurso poderá ser aproveitado para lazer ou outro tipo de atividades, impossíveis num veículo convencional. A mudança para uma condução autónoma cria mais tempo disponível influenciando o *value of time*, conceito que se baseia no valor atribuído ao uso do tempo [49]. Por exemplo, na Europa, o tempo médio perdido por condutor em situações de tráfego pode ascender às 74 horas por ano [50].

Como referido na secção anterior, a tecnologia autónoma permitirá que qualquer pessoa usufrua de um veículo privado, mesmo incapacitada fisicamente, criança ou idoso.

#### **3.3.1. Questões de ética e de segurança**

A transição para a mobilidade autónoma coloca dúvidas quanto à segurança rodoviária, nomeadamente sobre a capacidade de tomada de decisão do sistema do veículo. É fundamental que a resposta seja precisa, sem margem de erro. Mais de 90% dos acidentes rodoviários são provocados por erro humano, portanto podem ser reduzidos com tecnologia autónoma eficaz.

Apesar da alegada segurança dos veículos autónomos face aos convencionais, existe a possibilidade de acidente: nestes casos, quem deve ser responsabilizado? Segundo alguns especialistas, as marcas



devem de assumir os riscos de falhas em condução autónoma, retirando a responsabilidade do utilizador [51].

Porém, este tema levanta questões de natureza jurídica, criando alguns dilemas. Por vezes os condutores são levados a transgredir o código da estrada, como ultrapassar o limite de velocidade ou ‘pisar’ um traço contínuo em situações de emergência. Os veículos autónomos regem-se pela legislação e pelas regras rodoviárias, no entanto serão capazes de transgredir em situações consideradas necessárias? Outro dilema a enfrentar pelo legislador e regulador prende-se com a segurança. Numa situação hipotética em que o veículo possui duas opções, qual deve tomar: colocar em perigo peões na área circundante e proteger o condutor, ou vice-versa? [52].

Numa rede rodoviária em que todos os veículos estão conectados entre si, direta ou indiretamente, a ameaça de *hacking* é real e deve ser levada em conta, já que qualquer sistema computadorizado pode ser sequestrado remotamente [53].

### **3.4. Impactos energéticos**

A automação pode proporcionar alterações nos padrões de consumo dos veículos, quer a nível individual, quer em maior escala. Por um lado, o facto de o veículo operar sozinho permite um aumento de eficiência, baixando o seu consumo. Por outro, os padrões de utilização de veículos poderão sofrer mudanças, como um menor número de carros em circulação ou aumento do volume de viagens global.

Ao baixar os consumos globais dos veículos, assegura-se a diminuição da emissão de poluentes e gases com efeito de estufa. No caso dos veículos eléctricos, a última provém da produção de energia eléctrica, que pode ser de origem fóssil.

A evolução da tecnologia autónoma permite uma condução difícil ou impossível de ser feita em segurança por um condutor humano. Esta tecnologia é potencialmente disruptiva para a redução de tráfego e melhoramento dos ciclos de condução, como será abordado de seguida.

#### **3.4.1. Eco driving**

O termo *eco driving* designa uma condução otimizada do ponto de vista ambiental. Os veículos autónomos possuem a capacidade de serem programados para operarem de um modo mais eficiente, evitando acelerações repentinas ou travagens desnecessárias, típicas na condução humana, que levam a um dispêndio de energia superior ao realmente necessário. A implementação do *eco driving* possibilita uma diminuição do consumo energético de uma frota de automóveis.

Os ganhos energéticos decorrentes variam com o ambiente de condução. Por exemplo, Mackenzie et al. (2015) [54] com base nesta abordagem calcularam em meio urbano e autoestrada reduções de consumo de 10 e 20%, respetivamente, face a uma condução regular.

### 3.4.2. Platooning

O princípio do *platooning* consiste na redução do efeito de resistência aerodinâmica, colocando os veículos em fila próximos entre si. Permite uma redução no uso do motor para manter a velocidade, reduzindo os consumos. Porém os efeitos do *platooning* apenas se notam com uma grande proximidade entre veículos, tipicamente entre 0,5 e 1 m, o que é possível conceber em regime autônomo. Para obter o máximo de eficiência energética, é necessário que os veículos circulem a uma velocidade constante e a altas velocidades, pelo que a autoestrada é o troço que se adequa à aplicação do *platooning*.

Numa formação os veículos na dianteira irão beneficiar menos deste efeito. Apesar de existirem variações no impacto de consumo para cada posição, Mackenzie et al. (2015) [54] adotaram uma metodologia para determinar o efeito do *platooning* no consumo de energia total com base nas perdas aerodinâmicas, na velocidade do veículo e nos quilómetros efetuados em autoestrada num ano. Um veículo que percorra 33% dos quilómetros anuais em autoestrada, em que a velocidade de circulação é variável e viaje numa fila de veículos ligeiros (20% de redução no atrito aerodinâmico), poderá beneficiar de 25% de aumento na sua autonomia. Já Brown et al. (2014) [55] consideram um potencial de 10% na redução de consumo para veículos ligeiros.

### 3.4.3. Velocidade

A tecnologia de automação permitirá um aumento de segurança rodoviária, sendo espectável a possibilidade de circulação em segurança a velocidades mais altas para viagens em autoestrada. Brown et al (2014) [55] assumem que 160 km/h será o limite legal de velocidade em autoestrada para veículos autônomos, mas poderá ser superior.

Uma grande parte do consumo de energia de um veículo a grandes velocidades advém da resistência aerodinâmica, e a partir de uma determinada velocidade o consumo energético é aproximadamente proporcional à velocidade. Um incremento da velocidade em 16 km/h a partir dos 125 km/h aumenta o consumo em 13,9%. Considerando que no futuro o limite de velocidade permitido em autoestrada é de 160 km/h, poderá resultar num aumento de 30% no consumo do veículo [55].

### 3.4.4. Peso

#### **Redução**

Eventualmente a maior segurança proporcionada pela mobilidade autónoma, especialmente em vias exclusivas para veículos autónomos, levará a uma diminuição das colisões e acidentes rodoviários, proporcionando o desenvolvimento de veículos com menos equipamento de segurança dos passageiros. Grande parte deste equipamento poderá deixar de ser *standard*, contribuindo para uma diminuição do peso global dos veículos em cerca de 8% [56].

Estima-se que cada ponto percentual de redução do peso do veículo se traduz numa diminuição do seu consumo entre 0,6 e 0,7%. Prevê-se que em 2050 os veículos ligeiros de passageiros serão entre 30 e 50% mais leves que os modelos atuais, resultando num decréscimo de consumo entre 18 e 35%, respetivamente, valores que incluem também a diminuição de peso por via da utilização de materiais mais leves, como por exemplo o aço de elevada rigidez [56].

### ***Incremento***

Em sentido inverso, presumindo que no futuro os veículos não necessitam de condutor, é previsível que o tempo gasto em viagem possa ser aproveitado para outras atividades, nomeadamente de lazer ou de trabalho. É espectável que sejam adicionados equipamentos de conforto e tecnológicos, levando a um aumento do peso do veículo. Espera-se um incremento de 240 kg em veículos autónomos de nível 4 ou superior, traduzindo-se num aumento de 11% no consumo energético [54].

O balanço destas considerações espera-se, contudo, favorável do ponto de vista energético. O consumo de um veículo poderá ser entre 7 e 24% inferior até 2050, tendo em conta as alterações de peso.

### **3.4.5. Distância percorrida**

A tecnologia autónoma permite que mais pessoas usufruam de veículos privados. Todos os grupos etários (inclusive crianças e idosos), pessoas de mobilidade reduzida e outras com incapacidades para a condução podem viajar num veículo autónomo sem impedimento. Combinando a redução do consumo, custo por quilómetro e o aumento de conforto nas viaturas, espera-se um incremento do uso de veículos, traduzindo-se em mais distância percorrida, i.e., existe um efeito de *rebound*.

Espera-se que os AVs percorram mais 40% de quilómetros anualmente que na atualidade [55].

## **3.5. Enquadramento legislativo**

Na atualidade, poucos são os países com legislação específica para o transporte autónomo, por motivo de fraca expressão da mobilidade autónoma e inércia legislativa.

Uma das maiores dificuldades reveladas pelos principais construtores de automóveis prende-se com a falta de legislação que aprove a circulação de veículos autónomos, algo com grande impacto na difusão da tecnologia. Por exemplo, a maioria dos países são signatários da Convenção de Viena sobre o Trânsito Rodoviário, que determina que qualquer veículo deve ter um condutor humano e este deve ser capaz de controlar o veículo [57].

Apesar de muitos considerarem esta convenção um obstáculo aos veículos autónomos, alguns países começam a dar os primeiros passos ao permitir a circulação destes veículos em certos locais fechados, ou controlados para efeitos de teste. Nesta secção sumaria-se o enquadramento de promoção e evolução da tecnologia autónoma em diversos países/continentes.

### ***Estados Unidos***

Os Estados Unidos foram o primeiro país a permitir testes usando veículos autónomos, sendo que apenas quatro estados aderiram à primeira fase de testes. Em 2011, o estado do Nevada foi o primeiro a promulgar legislação relativa à operação de veículos autónomos. Atualmente outros 20 estados possuem leis que permitem ou incentivam o desenvolvimento da tecnologia autónoma [58].

### ***Europa***

Alguns países europeus associaram-se a marcas de automóveis e outras plataformas para o desenvolvimento da tecnologia de automação, casos do Reino Unido, Finlândia, França, Alemanha, Itália, Holanda, Espanha e Suíça [57]. As iniciativas que promovem testes para veículos autónomos são permitidas com a ligeira alteração na Convenção de Viena, e sugerem a abertura destes países a eventuais mudanças legislativas conducente à possibilidade de condução autónoma. O Reino Unido é

dos poucos países europeus não aderentes à Convenção de Viena, não estando sujeito às leis por ela impostas.

### *Ásia*

Tal como o Reino Unido, a China não ratificou a Convenção de Viena, neste caso devido ao atraso que poderia causar no desenvolvimento da motorização da sua sociedade. O teste de veículos autónomos necessita da obtenção de uma matrícula específica, e os condutores deverão obter uma carta de condução especial para o efeito.

No Japão, o primeiro teste de um veículo autónomo em estrada pública realizou-se em Novembro de 2013 com um Nissan Leaf, sugerindo flexibilidade do governo japonês. Singapura e a Coreia do Sul também possuem planos para a inclusão de veículos autónomos nas estradas.

No momento da realização deste trabalho não existia legislação que permitisse a livre circulação de veículos autónomos, apesar da tentativa de alguns governos para que isso se altere. Contudo, diversas iniciativas, como o *Autonomous Vehicle Safety Regulation World Congress 2017*, têm como ordem de trabalhos criar condições para que a transição seja possível, estabelecendo leis internacionais e regulamentação para a circulação em autonomia integrada com os restantes veículos. As medidas de segurança também estão em foco, nomeadamente a concessão às autoridades da possibilidade de imobilizar veículos autónomos e lidar com possíveis *cyberattacks* e *hacking* aos mesmos [59].

## **3.6. Veículos autónomos partilhados**

Como forma de potenciar os AVs e minimizar os aspetos negativos da automação, como o incremento de tráfego, é expectável que a mobilidade autónoma se combine com a partilha de veículos.

### **3.6.1. Car sharing**

Atualmente o *car sharing* é o serviço de partilha mais popular, sendo notório o aumento dos seus adeptos. Esta forma de viajar começou a emergir na presente década, contando atualmente com mais de 5,8 milhões de utilizadores. É esperado que em 2021 atinja os 35 milhões [60].

O seu funcionamento baseia-se na reserva de veículos através de uma aplicação de telemóvel, com a cobrança em função da distância percorrida e do tempo despendido. Uma das críticas recorrentes dos utilizadores deste serviço tem a ver com a frequente ausência de veículos nas imediações, algo que poderá ser resolvido com a introdução de automação, proporcionando uma maior taxa de utilização de um SAV.

A adoção deste serviço em larga escala pode proporcionar uma redução de 27% no tamanho da frota base (veículos convencionais), convertendo-se em veículos SAVs representando 9% da frota total. Tendo em conta um cenário de utilização intensiva de *car sharing*, é expectável um incremento de 51% da distância percorrida por estes SAVs comparativamente a um veículo convencional, fruto do *rebound effect* referido em 3.4.5 [61].

### **3.6.2. Ride sharing**

O *ride sharing* consiste num sistema de boleias, em que vários passageiros com o mesmo destino viajam no mesmo veículo. No entanto a implementação deste serviço revela maiores dificuldades que o *car sharing*, devido à dificuldade em encontrar destinos comuns. A automação permite contornar esta situação, permitindo numa viagem adicional transportar os utilizadores ao seu destino final.

A adesão em massa a este serviço tem o potencial de diminuir a frota de veículos ligeiros de passageiros em 27%, substituídos por SAVs representando 5% da frota total [61].



## Secção 4. Métodos

Este trabalho tem como finalidade projetar a evolução do consumo energético e emissões locais da frota de ligeiros de passageiros para Portugal até 2050, traçando cenários baseados nas futuras vendas de veículos, consumos por veículo, evolução tecnológica e apoio político/social.

A revisão de literatura alicerça a construção desses cenários, tal como se segue.

### 4.1. Frota automóvel

O número total de automóveis em circulação obtém-se pelo produto entre o índice de motorização e o total de habitantes.

De acordo com o *World Databank*, a população residente em Portugal passará de 10,5 milhões em 2010 para 9,2 milhões em 2050. Esta diminuição prende-se com o envelhecimento da população e emigração [62].

O aumento do poder de compra *per capita* previsto fará crescer o índice de motorização, segundo o *International Transport Forum* (ITF). As projeções para a Europa apontam para que existam 495 carros por mil habitantes em 2050 [63]. O mesmo valor foi assumido para Portugal.

Com base nestes números, obtém-se a evolução da frota mostrada na Figura 4-1. A sua dimensão oscila muito, atingindo um máximo de 4,72 milhões de veículos em meados da década de 2030. No final da projeção o número de carros em circulação ronda os 4,54 milhões.

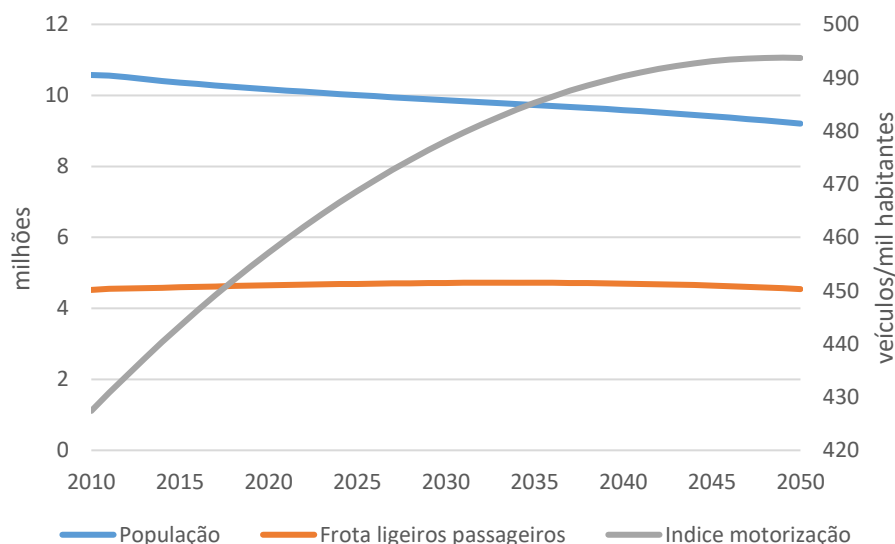


Figura 4-1 – Projeção da população (*World Databank*) [62], índice de motorização [63] e frota de ligeiros de passageiros até 2050 para Portugal.

A composição da frota será repartida entre carros a diesel, gasolina, elétricos e autónomos. Os veículos autónomos serão divididos em três categorias, das quais farão parte os SAV (*car sharing* e *ride sharing*) e AVs comuns. Estas repartições são seguidamente detalhadas.

#### 4.1.1. Frota convencional

O mercado automóvel em Portugal tem sofrido oscilações ao longo dos anos. A partição de veículos com propulsão a gasolina e diesel manteve-se equilibrada nos últimos 20 anos. A quota de mercado diesel encontra-se em declínio face a gasolina, encontrando-se nos 64% em 2016, 4% mais baixo do que em 2015. A venda de veículos a gasolina regista uma subida de três pontos percentuais, atingindo os 33% no mesmo período [64].

A informação disponibilizada pela *PORDATA* indica que no ano de 2015 cerca de 4,68 milhões de veículos do parque automóvel são ligeiros de passageiros. Destes, 2,48 milhões são veículos a *Diesel* e 2,2 milhões a gasolina, representando 53% e 47% respetivamente [65]. Tendo em conta as oscilações nas vendas de ambos os sistemas e a imprevisibilidade das mesmas, esta distribuição será usada para os cálculos energéticos da frota de ICES.

#### 4.1.2. Evolução de EVs e AVs

A evolução de vendas de veículos será extrapolada usando o modelo de Gompertz. Trata-se de uma função analítica que tipicamente é aplicada nas previsões de vendas de produtos em que a sua maturidade é atingida a médio ou longo prazo. Tudo indica que a evolução de mercado de EVs e AVs seguirá essa tendência.

##### 4.1.2.1. Função Gompertz

A função é representada por uma curva em forma de ‘S’ com três zonas distintas: uma primeira de evolução acelerada; a segunda apresenta um crescimento lento e a última fase é a de saturação. A Figura 4-2 apresenta um exemplo da função. A curva de Gompertz é representada pela Equação (1):

$$Y = \lambda e^{-\beta e^{-kt}} \quad (1)$$

Na equação,  $Y$  é o número de veículos (elétricos ou autônomos),  $\lambda$  representa a amplitude da função,  $\beta$  e  $k$  são constantes que definem a taxa de crescimento e o ponto de inflexão, respetivamente.

O uso da função de Gompertz terá como objetivo obter uma caracterização da evolução do *stock* de veículos elétricos, obtendo parâmetros para um crescimento mais ou menos demorado.



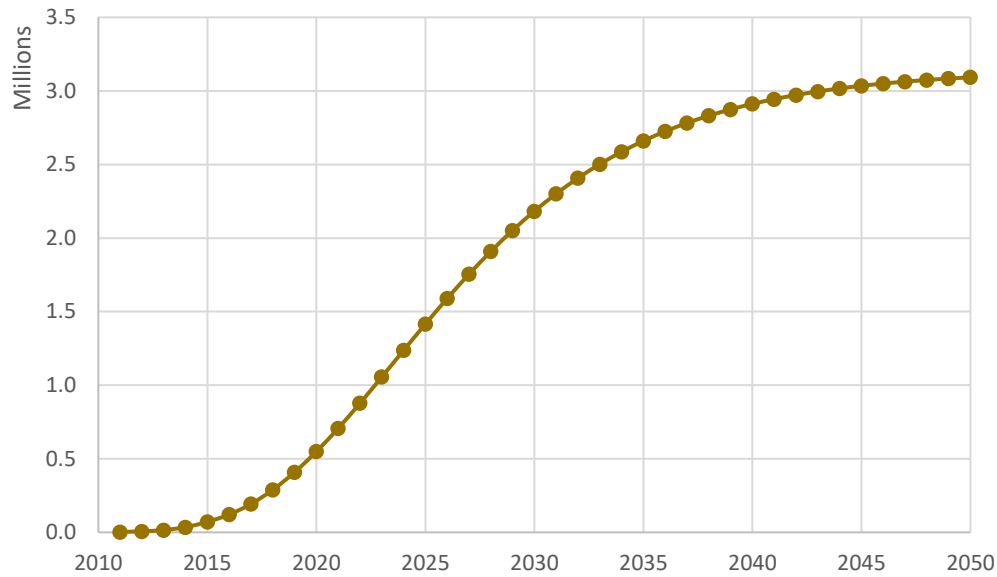


Figura 4-2 – Exemplo da função Gompertz aplicada à evolução do *stock* de veículos elétricos na Noruega, com base na população [62] e vendas dos mesmos [9].

### Definição dos parâmetros

A metodologia aplicada para o cálculo dos parâmetros da função de Gompertz será baseada na de Li et al. (2014) [66], que utiliza o histórico de vendas de veículos elétricos para modelar a sua evolução no tempo. É aplicada uma regressão linear à expressão de Gompertz da forma,

$$y = x - m \quad (2)$$

Em primeiro lugar, retira-se a exponencial da equação (1) aplicando um logaritmo,

$$\ln \frac{\lambda}{Y} = \beta e^{-kt} \quad (3)$$

De seguida, volta-se a aplicar um logaritmo,

$$\ln \left| \ln \frac{\lambda}{Y} \right| = \ln \beta - kt \quad (4)$$

Para se poder aplicar o modelo da regressão linear da equação (2), ficando:

$$\ln \left| \ln \frac{\lambda}{Y} \right| = y \quad (5)$$

$$\ln \beta = x \quad (6)$$

O parâmetro  $\lambda$  representa o valor máximo de veículos na projeção da frota até 2050.

Os parâmetros  $x$  e  $k$  podem ser calculados aplicando as seguintes expressões:

$$x = \bar{y} + k\bar{t} \quad (7)$$

$$k = \frac{\sum y_i t_i - n t \bar{y}}{n \bar{t}^2 - \sum t_i^2} \quad (8)$$

O cálculo da Equação (7) exige a resolução da Equação (8), faltando determinar o parâmetro  $y$  (5).

### 4.1.3. Veículos autónomos partilhados

A frota SAVs será distribuída pelos dois tipos de conceitos mencionados na secção 3.6: *car sharing* e *ride sharing*. Tendo em conta que os serviços de partilha de veículos se encontram numa fase precoce, a penetração de SAVs será semelhante à dos AVs em geral, i.e., progressiva e em ‘S’, de acordo com o apoio legislativo e governamental, e a adoção pela sociedade. Nos cenários em que o enquadramento é favorável, os cálculos terão incidência sobre um máximo de 100% da frota existente, e nos restantes entre 50 e 75%. O enquadramento também terá implicações no ano que os serviços de partilha entram na simulação, que coincide com a entrada de AVs no mercado.

Considera-se que as implicações do *car sharing* na redução da frota são as mesmas nas frotas de EVs e ICE. Assume-se ainda que os AVs detidos por proprietários individuais não são utilizados em regime de *car sharing*, embora possam ser em regime de *ride sharing*. Estas considerações afetam a frota existente, substituindo os restantes veículos por SAVs (descritas em 3.6), e estão resumidas na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Alterações na frota de veículos convencionais (ICEs e EVs) em função da adesão aos regimes de *car sharing* e *ride sharing*.

Enquadramento legislativo	Favorável		Desfavorável		Intermédio	
Tipo de serviço	Car sharing	Ride sharing	Car sharing	Ride sharing	Car sharing	Ride sharing
Diminuição da frota	-27,07%	-27,21%	-13,53%	-13,60%	-20,30%	-20,41%
SAVs adicionais	+9,04%	+5,37%	+4,52%	+2,68%	+6,78%	+4,03%

## 4.2. Cenários

Este trabalho procura quantificar os efeitos inerentes ao incremento do número de veículos elétricos/autónomos na frota portuguesa, estando sujeito a vários fatores de carácter económico, social e legislativo. O trabalho efetuado por Milakis et al. (2015) [67] aborda as questões políticas e o desenvolvimento da própria tecnologia autónoma, em que estas fazem parte dos eixos de uma matriz usada na criação de cenários para a Holanda. Nesse trabalho foram construídos quatro cenários com base na disponibilidade e procura de veículos autónomos no mercado holandês, e avanço da legislação.

Esta abordagem tipo matriz será aqui também adotada, embora com alterações. A principal diferença prende-se com a quantificação da frota AV, que no caso de Milakis et al. (2015) [67] se baseia em opiniões de especialistas. Para este trabalho o número de carros autónomos será calculado com a equação de Gompertz, para além dos cálculos energéticos, algo não contabilizado no relatório referido. Para além dos quatro cenários que fazem parte do eixo, existirá um cenário central intermédio.

Os dois eixos que compõem a matriz são o desenvolvimento tecnológico e o enquadramento legislativo e incentivos, e.g. fiscais. A nomenclatura dos cenários é definida consoante a sua posição em cada eixo, ou seja, o cenário no 1º quadrante prevê um grau elevado dos fatores, e será referido como o cenário AA. No 3º quadrante acontece o oposto, i.e., o desenvolvimento tecnológico e o enquadramento legislativo estão em estágios baixos de desenvolvimento, cenário BB. A simbologia dos restantes cenários segue o mesmo racional, sendo que o cenário central é chamado de CC. A Figura 4-3 engloba as considerações tecidas anteriormente.

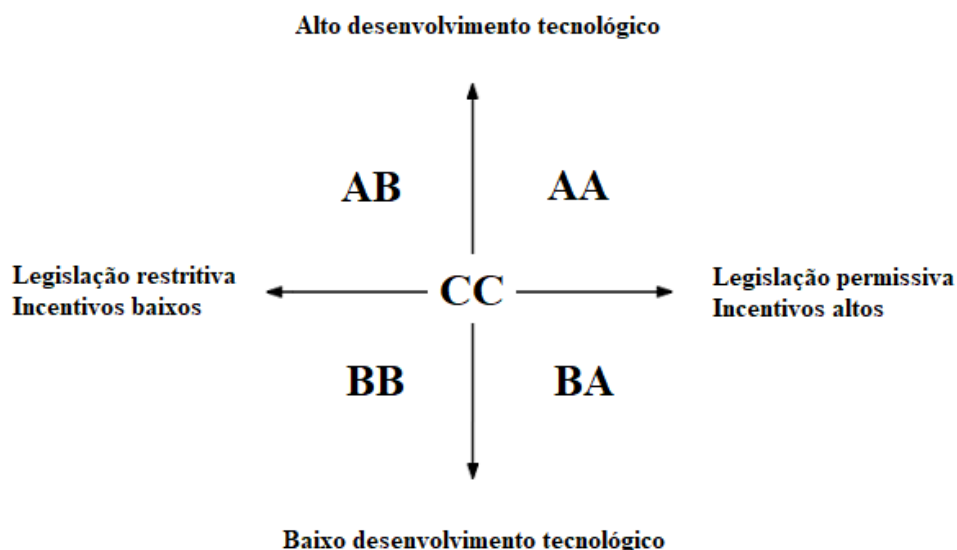


Figura 4-3 – Esquematização e designação dos cenários num sistema de eixos.

Os pressupostos que farão parte dos cenários focam quatro vertentes:

- 1) A entrada de AVs no mercado automóvel: a disponibilidade da tecnologia autónoma encontra-se dependente de dois fatores: o desenvolvimento da tecnologia e a aceitação pública e política. Segundo os fabricantes, a progressão da tecnologia permitirá que em 2020 os AVs possam circular em nível 4. Porém, a legislação terá um papel determinante nesta possível realidade.

Neste trabalho assumem-se diferentes datas para a entrada de veículos autónomos no mercado. A seleção dessas datas será determinada pela conjugação dos fatores desenvolvimento tecnológico e suporte político/legislação favorável. No eixo referente à tecnologia (ver Figura 4-3), nos cenários que se encontram no 1º e 2º quadrantes assume-se que os veículos possuem a capacidade de operar em nível 4 a partir de 2020; no entanto no cenário AB a falta de suporte legislativo não permite essa circulação, atrasando-a cinco anos. Nos cenários BA e BB a tecnologia autónoma apenas está disponível no mercado em 2025, e no último cenário, à semelhança do cenário AB, a sua circulação é atrasada cinco anos.

- 2) As curvas de penetração de EVs e AVs: para obter um intervalo plausível para o crescimento das vendas de veículos elétricos e autónomos em Portugal, analisou-se o *market share* de veículos elétricos em vários países (Figura 2-8), concluindo-se que a Noruega é o mais bem posicionado, com 29% de quota em 2016. Este país escolheu-se para caracterizar a curva de maior evolução das frotas através da função de *Gompertz* (descrita em 4.1.2.1). Na situação inversa, Portugal encontra-se aquém da maioria dos países europeus, EUA e China no que à mobilidade elétrica diz respeito, com vendas de EVs a não ultrapassarem os 2% de mercado

no ano de 2016. Para o cenário central o crescimento de veículos elétricos e autónomos baseou-se no de um país com um aumento médio de *market share*. Escolheu-se a Suécia para esse efeito, que apresentou um crescimento de 0,05 para 3,41% na quota de mercado entre 2011 e 2016.

- 3) O consumo de AVs: tendo em conta a permissividade da legislação na implantação da tecnologia referida na Secção 3.5, considerou-se serem os AVs totalmente elétricos, sendo os impactos referidos na Secção 3.4 aplicados alterando o consumo por veículo. A posição de cada cenário na matriz implica diferentes impactos. Os quadrantes de apoios políticos e legislativo pouco favoráveis (lado esquerdo da matriz) não têm a influência de todos os impactos energéticos (influência parcial), enquanto no lado direito da matriz prevê-se os impactos totais. Os impactos encontram-se explicados abaixo (Secção 4.4).
- 4) A evolução dos serviços de partilha de veículos autónomos: como referido na secção 3.6, os SAVs ganham expressão na mobilidade com a circulação dos AVs. Existem dois fatores que influenciam a incidência dos serviços de partilha nos cenários. O primeiro é o ano de entrada, e o segundo o máximo de quota admitida. Parte-se da premissa que a entrada dos SAVs no mercado coincide com a dos AVs (descrita anteriormente). Considerando que o enquadramento tem influência sobre o amadurecimento dos serviços de partilha, a incidência sobre a frota automóvel terá limitações, estando descritas na secção 4.1.3. A evolução da penetração destes veículos será considerada linear e com uma variação anual diferente para cada cenário.

A Tabela 4-2 resume os quatro pressupostos apresentados, pormenorizando cada cenário.

Tabela 4-2 – Caracterização dos cenários.

		1) Entrada de AVs e SAVs	2) Curva base de penetração EVs e AVs	3) Impacto energéticos AVs	4) Evolução anual de SAVs
Cenários	AA	2020	Noruega	Total	3,33%
	AB	2025	Portugal	Parcial	2,0%
	BA	2025	Noruega	Total	4,0%
	BB	2030	Portugal	Parcial	2,5%
	CC	2025	Suécia	Parcial	3,0%

### 4.2.1. Curvas de penetração

O cálculo do parâmetro  $y$  exige pressupor o número de veículos em circulação (parâmetro  $\lambda$ ) em 2050 para os países selecionados, de forma a caracterizar as curvas base de penetração de EVs e AVs (Secção 4.1.2). Utilizou-se para a Noruega e Suécia o mesmo método aplicado para Portugal (Secção 4). A Figura 4-4 mostra a projeção da população, índice de motorização e, com bases nestes dois, a frota de veículos até 2050 para os dois países.

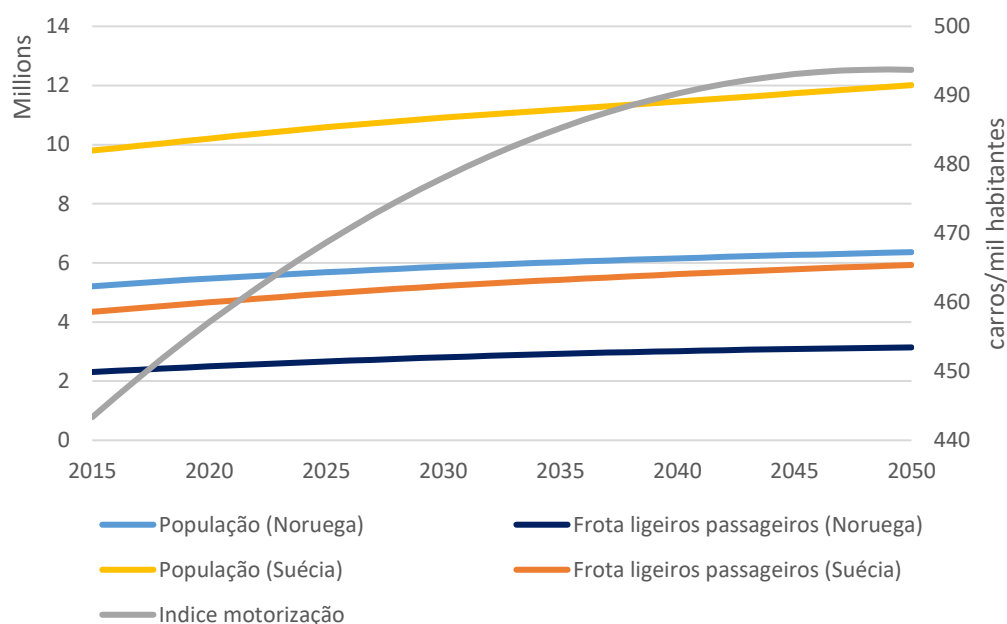


Figura 4-4 - Projeção da população (World Databank) [62], índice de motorização [63] e frota de ligeiros de passageiros até 2050 para Noruega e Suécia.

O próximo passo implica obter os valores anuais de  $y$  entre 2011 e 2016 para os três países. Os valores de  $y$  são calculados aplicando a (5), sendo que o parâmetro  $Y$  representa o número de vendas anuais de veículos elétricos. A Tabela 4-3 sumariza os cálculos de  $y$  para cada ano.

Ao resolver as Equações (8) e (7), determinam-se os parâmetros  $k$  e  $\beta$ , que estão representados na Tabela 4-4. Ao aplicá-los na Equação (1), juntamente com os respetivos valores de  $\lambda$  de cada país, e alterando a variável  $t$ , obtém-se a projeção do número de veículos elétricos, embora para a construção dos cenários apenas sejam necessários os parâmetros  $k$  e  $\beta$ .

Tabela 4-3 – Parâmetro  $y$  para Noruega, Portugal e Suécia.

	Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	t	1	2	3	4	5	6
Noruega	Y (milhares de veículos)	2,62	7,13	15,65	35,42	71,03	121,21
	y	1,9586	1,8064	1,6681	1,5008	1,3322	1,1802
Portugal	Y (milhares de veículos)	0,22	0,31	0,52	0,82	2,00	3,87
	y	2,3000	2,2650	2,2098	2,1585	2,0498	1,9609
Suécia	Y (milhares de veículos)	0,18	1,11	2,66	7,33	15,92	29,34
	y	2,3421	2,1498	2,0424	1,9015	1,7784	1,6694

Tabela 4-4 – Parâmetros  $k$  e  $\beta$  para Noruega, Portugal e Suécia.

	$k$	$\beta$
<b>Noruega</b>	0,1566	8,3524
<b>Portugal</b>	0,0683	10,9851
<b>Suécia</b>	0,1320	11,5014

Com base nos parâmetros  $k$ ,  $\beta$  e  $y$  é possível obter as curvas de penetração de EVs e AVs para Portugal, Suécia e Noruega, aplicando a Equação (1), estando representadas na Figura 4-5.

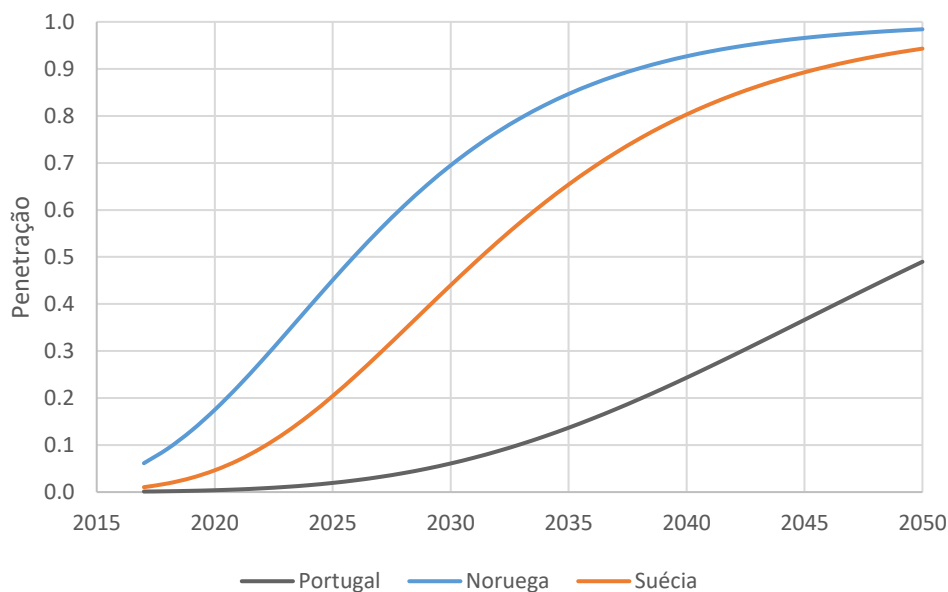


Figura 4-5 – Penetração de EVs e AVs para Portugal, Noruega e Suécia a partir da função de Gompertz.

### 4.3. Consumo energético e emissões

Este capítulo foca os consumos por tipo de veículo, servindo de base para a construção dos cenários. Em primeiro lugar, será definido um perfil de condução, típico de um veículo na Europa, servindo de base para os consumos dos tipos de veículos existentes (ICE, elétricos e autónomos). Definindo o consumo por veículo, é possível obter as emissões, calculadas pelo método *tier 1*, i.e., as emissões consideram-se proporcionais aos consumos.

#### 4.3.1. Distribuição por via

Para os cálculos dos consumos dos veículos é necessário definir um perfil de condução, distribuindo a distância total percorrida entre troços urbano, secundário e autoestrada. Em primeiro lugar é necessário estabelecer um valor médio anual da distância percorrida (VKT – *vehicle kilometers traveled*), baseado na média dos países europeus identificado no documento Estatísticas do Transporte de 2017 das Nações Unidas [68]. Efetuando a divisão entre o número de quilómetros totais e os

veículos em circulação no ano de 2015 para os países pertencentes à Europa, a média de VKT anual ronda os 12.500 km<sup>c</sup>.

De modo a caracterizar com maior precisão o perfil de condução é necessário repartir a distância VKT pelas tipologias de estradas existentes, que são: autoestradas; urbanas (inclui estradas nacionais) e secundárias. Segundo a *European Union Road Federation*, em Portugal os comprimentos de estrada portuguesas são de 2 988 km para autoestradas, 6 505 km em meio urbano e 4 791 km para estradas secundárias (Tabela 4-5).

Tabela 4-5 – Comprimento da rede de estradas portuguesas por tipo (km) [69].

	<b>Autoestrada</b>	<b>Urbana</b>	<b>Secundária</b>	<b>Total</b>
<b>Extensão (km)</b>	2 988	6 505	4 791	14.284
<b>Distribuição (%)</b>	21%	46%	34%	100%

Avaliando a distribuição demográfica em Portugal, constata-se que a maioria da população vive nas grandes cidades e periferias. Isto deve-se à concentração de empregos nos centros urbanos, originando movimentos pendulares. Como tal, num dia típico de semana, as estradas extra-urbanas, nacionais e secundárias, têm menos tráfego que as urbanas, assumindo-se nelas um volume de tráfego de 15%. Assume-se ainda que as viagens realizadas em estradas urbanas, nomeadamente em cidades, pesarão 50%, e as autoestradas 35% [70]. A Tabela 4-6 resume a partilha dos quilómetros percorridos anualmente por veículo.

Tabela 4-6 – Partilha de condução anual por veículo por tipo de troço.

	<b>Autoestradas</b>	<b>Urbanas</b>	<b>Secundárias</b>	<b>Total</b>
<b>Share</b>	35%	50%	15%	100%
<b>Quilometragem</b>	4 375	6 250	1 875	12.500

### 4.3.2. Veículos convencionais

O consumo de veículos ICE irá variar ao longo do tempo consoante o aumento de eficiência anual. A análise deste trabalho começa no ano de 2010, sendo este o ano de referência para o consumo base dos ICEs. A estruturação do consumo projetado dos veículos convencionais considerou-se ter por base o consumo do veículo mais vendido em Portugal nos anos recentes, juntando as projeções de consumo destes veículos a longo prazo.

#### 4.3.2.1. Consumo base

De modo a simplificar a estrutura dos cálculos dos consumos globais, será adotado nos mesmos um modelo de automóvel para servir de base, o Renault Clio, líder de vendas [71]. Serão consideradas as versões diesel e gasolina de 2010 (ano base). A Tabela 4-7 apresenta as especificações dos dois automóveis.

---

<sup>c</sup> Nem todos os países possuíam informações no documento referido ou os últimos dados eram referentes a 2015.

Tabela 4-7 – Consumos por tipo de troço do Renault Clio 2010.

	Diesel [72]	Gasolina [73]
<b>Urbano</b>	6,32	9,80
<b>Secundário</b>	5,42	8,06
<b>Autoestrada</b>	4,52	6,32

Os valores de consumo tabelados pelas marcas são efetuados segundo o ciclo de referência europeu, o *New European Driving Cycle* (NEDC). No entanto, este ciclo não reflete as ocorrências de uma condução real, e subestima os consumos e consequentemente as emissões [74]. De forma a aproximar a *performance* dos veículos a uma condução real, incrementou-se em 29% os consumos do NEDC [75]. Os consumos apresentados na Tabela 4-7 têm em consideração esse aumento.

#### 4.3.2.2. Projeção do consumo

O *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) elaborou uma projeção dos consumos energéticos para vários tipos de sistemas de propulsão em 2030 e 2050 (Figura 4-6) [56], que será refletida na evolução dos cenários. A evolução considerada, construída por interpolação, está patente na Figura 4-7.

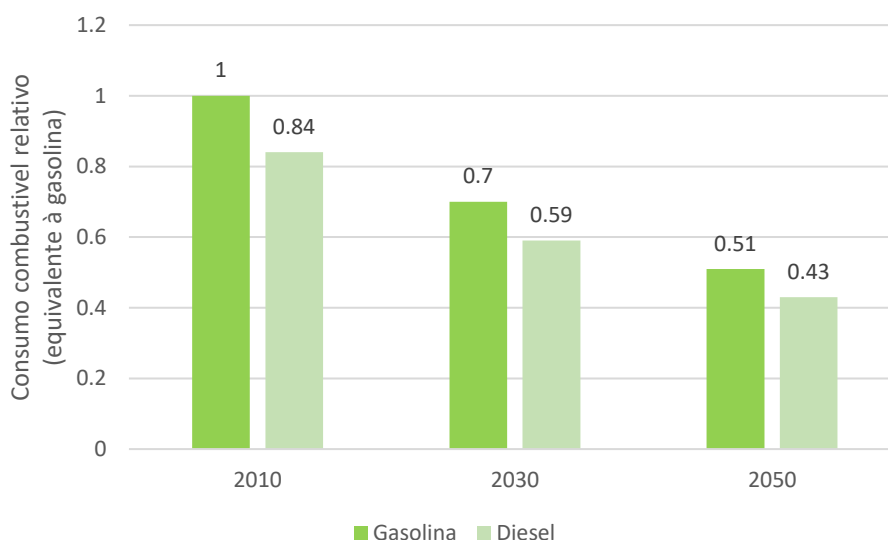


Figura 4-6 - Consumo relativo à gasolina de sistemas de propulsão a gasolina e *Diesel* para 2010, 2030 e 2050. Adaptado de [56].



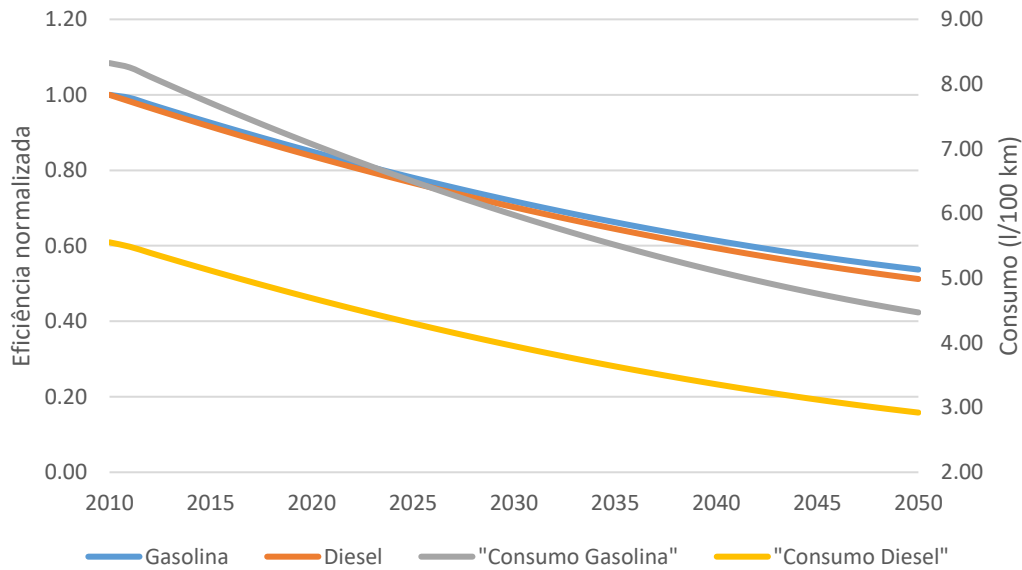


Figura 4-7 - Projeção da eficiência [56] e de consumo para o diesel e gasolina entre 2010 e 2050.

Pelo produto do consumo de diesel e gasolina em cada tipo de via (descritas em 4.3.1) obtém-se três vetores de valores através do sistema:

$$\begin{cases} c_{AE,i} = c_{base\_AE} * \varepsilon_i \\ c_{Urb,i} = c_{base\_Urb} * \varepsilon_i \\ c_{Sec,i} = c_{base\_Sec} * \varepsilon_i \end{cases} \quad (9)$$

Sendo que  $c_{AE,i}$ ,  $c_{Urb,i}$  e  $c_{Sec,i}$  representam os vetores do consumo para autoestrada, meio urbano e estradas secundárias, respetivamente, entre 2010 e 2050. Os valores  $c_{base}$  são baseados no consumo típico de um Renault Clio (Secção 4.3.2.1), ajustado ao perfil de condução adotado na Secção 4.3.1. O parâmetro  $\varepsilon_i$  define a evolução esperada para o aumento de eficiência até 2050 (Figura 4-7).

Somando os produtos dos valores do sistema de equações (9) com as distâncias da Tabela 4-6 para cada tipo de via resulta no consumo total para cada ano:

$$C_{anual,i} = d_{AE} \cdot c_{AE,i} + d_{Urb} \cdot c_{Urb,i} + d_{Sec} \cdot c_{Sec,i} \quad (10)$$

Em que  $d_{AE}$ ,  $d_{Urb}$  e  $d_{Sec}$  são as distâncias percorridas anualmente por cada veículo (Tabela 4-6).

### 4.3.2.3. Emissões

As emissões de escape serão calculadas pela metodologia *tier 1* da *European Environment Agency* (EEA) [76]. Este estudo cingir-se-á aos gases e poluentes com maior importância e influência na atmosfera, como o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), dióxido de azoto ( $NO_2$ ) e partículas  $<2,5\mu m$ , estando os fatores de emissão representados na Tabela 4-8.

Tabela 4-8 – Fatores de emissão de  $CO_2$ ,  $NO_2$  e PM 2.5 para diesel e Gasolina. Fonte: EEA [76].

Poluentes	Diesel	Gasolina
$CO_2$ (kg/kg <sub>fuel</sub> )	3,14	3,18
$NO_2$ (g/kg <sub>fuel</sub> )	12,96	8,73
PM 2.5 (g/kg <sub>fuel</sub> )	1,1	0,03

O cálculo das emissões resulta do produto entre os valores anuais da Equação (10) e os fatores da Tabela 4-8, resultando no seguinte sistema,

$$\begin{cases} kg_{CO_2i} = c_{anual,i} * kg_{CO_2}/kg_{fuel} \\ g_{NO_2i} = c_{anual,i} * g_{NO_2}/kg_{fuel} \\ g_{PM\ 2.5i} = c_{anual,i} * g_{PM\ 2.5}/kg_{fuel} \end{cases} \quad (11)$$

### 4.3.3. Veículos eléctricos

À semelhança dos veículos ICE, escolheu-se o modelo eléctrico líder de vendas para estimar os gastos energéticos globais da frota de EVs, o Nissan Leaf (com o maior número de registos acumulados desde 2010) [77].

Apesar da autonomia anunciada de 250 km (em ciclo NEDC), o Nissan Leaf foi testado em condições reais de utilização, alcançando uma autonomia de 200 km em cidade e 163 km em autoestrada, considerando uma bateria de 30 kWh [78]. A autonomia em vias extra-urbanas não foi medida, assumindo-se a média entre a na cidade e a em autoestrada (181 km).

O consumo eléctrico por quilómetro é o quociente entre a capacidade da bateria e a autonomia referida para cada tipo de condução. A Tabela 4-9 resume os consumos.

Tabela 4-9 – Resumo da autonomia e consumo do Nissan Leaf 2017.

<b>Bateria (kWh)</b>	<b>30</b>		
<b>Tipo de estrada</b>	Urbano	Secundário	Autoestrada
<b>Autonomia (km)</b>	200	181	163
<b>Consumo (kWh/km)</b>	0,150	0,166	0,185

Nos veículos eléctricos as emissões de escape são nulas, e não serão consideradas emissões implícitas a montante ou jusante.

### 4.3.4. Veículos autónomos

É expectável uma transferência gradual da mobilidade eléctrica convencional para a mobilidade em veículos autónomos. O consumo de AVs terá como base os consumos apresentados na secção 4.3.3 para um EV típico, partindo do pressuposto que todos os AVs serão eléctricos. Serão adicionados vários pressupostos tecnológicos afetos à automação que terão influência no consumo proposto para o Nissan Leaf.

#### 4.3.4.1. Consumo por tecnologia

A tecnologia autónoma considerada neste trabalho é de nível 4 ou 5, i.e., o condutor não necessita de intervir na condução do veículo, cujos consumos são os referidos na secção 3.4. Para o efeito, a Tabela 4-10 resume os ditos efeitos no consumo base do Nissan Leaf (Tabela 4-9) nos vários tipos de estrada. Para cada efeito estão representados o consumo e o seu respetivo fator relativo face ao veículo base.

Tabela 4-10 – Impactos tecnológicos da tecnologia autónoma sobre o consumo de um Nissan Leaf (kWh/km).

		Urbano	Secundário	Autoestrada
<b>Consumo base</b>	<b>Consumo (kWh/km)</b>	0,150	0,166	0,185
<b><i>Platooning</i></b>	<b>Fator</b>	1,0	1,0	0,9
	<b>Consumo (kWh/km)</b>	0,150	0,166	0,167
<b><i>Eco driving</i></b>	<b>Fator</b>	0,8	0,85	0,9
	<b>Consumo (kWh/km)</b>	0,120	0,141	0,166
<b>Maiores Velocidades</b>	<b>Fator</b>	1,0	1,0	1,35
	<b>Consumo (kWh/km)</b>	0,150	0,166	0,249
<b>Menos peso (materiais)</b>	<b>Fator</b>	0,8	0,8	0,8
	<b>Consumo (kWh/km)</b>	0,120	0,133	0,148
<b>Mais peso (conforto)</b>	<b>Fator</b>	1,11	1,11	1,11
	<b>Consumo (kWh/km)</b>	0,167	0,184	0,205

#### 4.4. Enquadramento legislativo

Como mencionado na Secção 3.5, a condução autónoma depende do suporte legislativo e da adaptação das infraestruturas à circulação de veículos autónomos.

Nos cenários em que é considerado um impacto energético parcial, admite-se que as medidas adotadas são insuficientes para aproveitar a totalidade do potencial tecnológico dos AVs. Esta insuficiência leva a restrições na circulação, nomeadamente em certas vias, e.g. os impactos em autoestrada não se fazem sentir, exceto os advindos do *eco driving* e de alterações de peso no veículo.

Por outro lado, um enquadramento legislativo favorável permite o *platooning* e um maior limite de velocidade em autoestradas, com os respetivos impactos energéticos.

Admite-se que o número de quilómetros percorridos pelos AVs aumentará 40%, como abordado em 3.4.5. A Tabela 4-11 reflete destes efeitos.

Tabela 4-11 – Consumo de um Nissan Leaf em modo de condução autónoma parcial e total.

		Urbano	Secundário	Autoestrada	Total
<b>VKT</b>	<b>km/veículo/ano</b>	8.750	2.625	6.125	17.500
<b>Consumo base</b>	<b>kWh/km</b>	0,150	0,166	0,185	0,146
	<b>kWh/ano</b>	1.315	435	1.130	2.881
<b>Parcial</b>	<b>kWh/km</b>	0,107	0,125	0,148	0,124
	<b>kWh/ano</b>	934	328	903	2.166
<b>Total</b>	<b>kWh/km</b>	0,107	0,125	0,179	0,135
	<b>kWh/ano</b>	934	328	1.098	2.360

## 4.5. Veículos autónomos partilhados

Os serviços de partilha de veículos fazem aumentar as distâncias percorridas (secção 3.6). A Tabela 4-12 e a Tabela 4-13 correspondem aos consumos energéticos por veículo utilizado em regime de *car sharing* e *ride sharing*, respetivamente.

Tabela 4-12 – Consumo energético de AVs partilhados utilizados em modo de *car sharing*.

		Urbano	Extraurbano	Autoestrada	Total
<b>VKT</b>	<b>km/veículo/ano</b>	13.204	3.961	9.243	26.408
<b>Consumo base</b>	<b>kWh/km</b>	0,150	0,166	0,185	0,165
	<b>kWh/ano</b>	1.985	656	1.706	4.347
<b>Parcial</b>	<b>kWh/km</b>	0,107	0,125	0,148	0,124
	<b>kWh/ano</b>	1.410	495	1.363	3.269
<b>Total</b>	<b>kWh/km</b>	0,107	0,125	0,179	0,135
	<b>kWh/ano</b>	1.410	495	1.656	3.562

Tabela 4-13 - Consumo energético de AVs partilhados utilizados em modo de *ride sharing*.

		Urbano	Extraurbano	Autoestrada	Total
<b>VKT (km/veículo/ano)</b>	<b>km/veículo/ano</b>	11.358	3.407	7.950	22.715
<b>Consumo base</b>	<b>kWh/km</b>	0,150	0,166	0,185	0,165
	<b>kWh/ano</b>	1.707	565	1.467	3.739
<b>Parcial</b>	<b>kWh/km</b>	0,107	0,125	0,148	0,124
	<b>kWh/ano</b>	1.213	426	1.173	2.812
<b>Total</b>	<b>kWh/km</b>	0,107	0,125	0,179	0,135
	<b>kWh/ano</b>	1.213	426	1.425	3.064

## 4.6. Valores históricos

De forma a obter uma melhor quantificação dos efeitos das novas formas de propulsão automóvel nos consumos e emissões da frota portuguesa, estes fizeram-se para os vários tipos de veículos existentes (ICE e EV) com base na frota dos mesmos (Secção 0) e consumos/emissões (Secção 4.3) entre 2010 e 2016. Salienta-se que as curvas de penetração com base na função de Gompertz (Secção 4.1.2.1) iniciam em 2017.

Os números da frota, do seu consumo e emissões de CO<sub>2</sub> antes de 2017 estão refletidos na Tabela 4-14, dando o mote para os cenários a desenvolver.

Tabela 4-14 – Valores históricos do consumo e emissões de CO<sub>2</sub> da frota de EV, *Diesel* e gasolina para Portugal entre 2010 e 2016.

	EV		Diesel			Gasolina		
	Nº veículos	Consumo (GWh/ano)	Nº veículos (milhões)	Consumo (TWh)	CO <sub>2</sub> (milhões Ton)	Nº veículos (milhões)	Consumo (TWh)	CO <sub>2</sub> (milhões Ton)
<b>2010</b>	20	0,06	2.396	16,6	4,38	2.123	20,1	5,20
<b>2011</b>	220	0,63	2.412	16,5	4,35	2.136	20,0	5,19
<b>2012</b>	310	0,89	2.420	16,3	4,29	2.144	19,8	5,12
<b>2013</b>	520	1,50	2.424	16,0	4,22	2.147	19,4	5,04
<b>2014</b>	820	2,36	2.428	15,8	4,16	2.151	19,1	4,97
<b>2015</b>	2.000	5,76	2.434	15,5	4,10	2.156	18,9	4,89
<b>2016</b>	3.873	11,16	2.440	15,3	4,03	2.161	18,6	4,82

## 4.7. Validação/calibração

De modo a averiguar se existe necessidade de calibrar a metodologia utilizada, serão comparados os valores de emissões de CO<sub>2</sub> por veículo obtidos a partir do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) [70]. Como as emissões de CO<sub>2</sub> são um produto direto do consumo de energia, é possível validar os restantes valores calculados. Apesar de existir no período 2010-2015 consumo de energia por parte dos EVs, este não é suficientemente expressivo, e pode ser desprezado. A Tabela 4-15 compara os valores calculados com os resultados da APA para o transporte de ligeiros de passageiros.

Tabela 4-15 – Comparação entre os fatores de CO<sub>2</sub> de diesel e gasolina da APA e os obtidos neste trabalho (g/km).

	Diesel			Gasolina		
	APA [70]	Calculado	Diferença	APA [70]	Calculado	Diferença
<b>2013</b>	186,46	139,35	-25,3%	177,26	187,88	6,0%
<b>2014</b>	186,01	136,95	-26,4%	177,22	184,68	4,2%
<b>2015</b>	185,73	134,58	-27,5%	177,44	181,53	2,3%

Analisando as diferenças, constata-se que para a gasolina os valores são muitos similares, menos no caso do diesel, onde as diferenças são sistemáticas e coerentes entre si. Contudo, visto que este trabalho foca essencialmente veículos elétricos, e compara os cenários de forma relativa, não se procedeu à correção de valores.

## Secção 5. Resultados e Discussão

Os cenários AA, AB, BA, BB e CC, obedecendo aos pressupostos da Tabela 4-2, foram testados, e os resultados quantitativos apresentam-se agrupados por cenário, nomeadamente a evolução da frota, o consumo energético e as emissões de gases de efeito de estufa. O período das projeções tem início em 2017, terminando em 2050, sendo apresentados valores históricos desde 2010. No Anexo encontra-se informação mais detalhada sobre os resultados obtidos.

### 5.1. Cenário AA

O enquadramento legislativo e desenvolvimento tecnológico favoráveis para os EVs e AVs favorecem a adoção em massa destas tecnologias, e uma maior partilha de veículos. O parque automóvel sofre uma redução de 4,54 milhões de veículos para 3,56 entre 2010 e 2050, ilustrado na Figura 5-1, i.e., uma diminuição de 22%.

De notar que as irregularidades por volta de 2015 nas curvas do diesel e gasolina resultam da aplicação da metodologia, baseada nas curvas de penetração para a Noruega, que apresentam uma discrepância assinalável relativamente às portuguesas, logo a irregularidade no início da projeção. Este efeito é comum aos restantes cenários, abordados nas secções seguintes.

A frota de EVs assume um papel de destaque a partir década de 20, representando metade do parque automóvel já em 2025. Os ICE rapidamente perdem preponderância, em detrimento dos modelos elétricos. Os AVs, que principiam no mercado em 2020, começam a escalar rapidamente, suplantando as restantes tecnologias a partir de 2025 até ao final da projeção.

Em 2050 os veículos convencionais de hoje são considerados obsoletos, representando menos de 2% do parque automóvel. Os AVs dominam o mercado automóvel, com mais de 85% da frota total, enquanto que os veículos partilhados (SAV) perfazem 7%. Os modelos elétricos convencionais equivalem a 5% do número total de veículos.

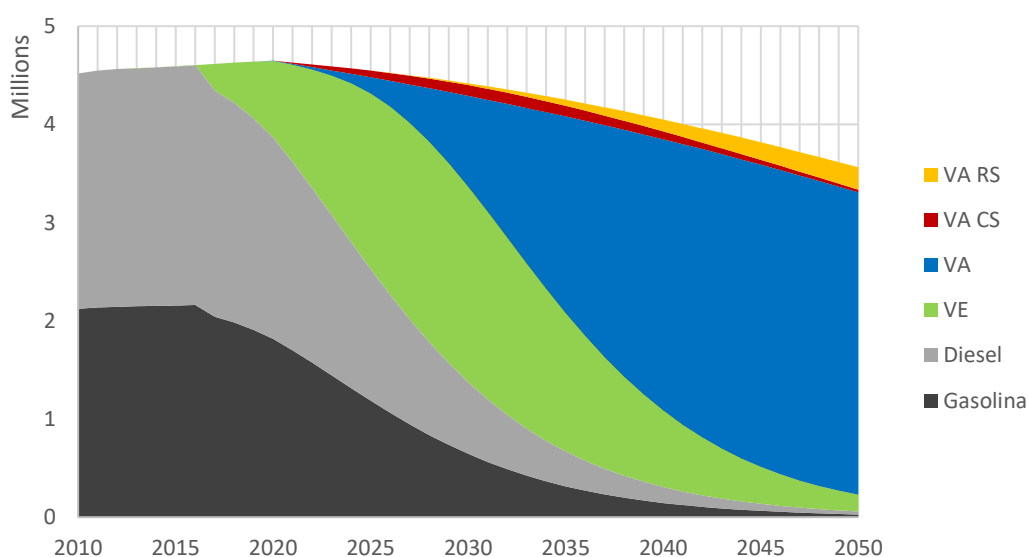


Figura 5-1 – Cenário AA: projeção da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.

Como resultado da distribuição da frota, o consumo é maioritariamente suportado pelos AVs em 2050, assumindo preponderância a partir de 2030 (Figura 5-2).

A Figura 5-3 revela que entre 2030 e 2040 o consumo energético decai 30%, atingindo os 10,3 TWh. Dez anos depois, observa-se uma descida de 16%, baixando aos 8,6 TWh.

O dispêndio de energia por troço altera-se, aumentando a quota das autoestradas no final da projeção – a contribuição sobe de 34 para 46%. O consumo afeto à condução citadina desce de 51 para 40% e o peso dos troços extra-urbanos mantém-se praticamente inalterada durante o período.

As emissões de gases poluentes acompanham a tendência energética como patente na Figura 5-4. A substituição dos sistemas de propulsão a combustíveis fósseis por elétricos proporciona uma descida acentuada de emissões em estrada. Os níveis de emissões atingem metade dos valores iniciais em 2024. No final da projeção os gases emitidos pela frota são praticamente nulos.

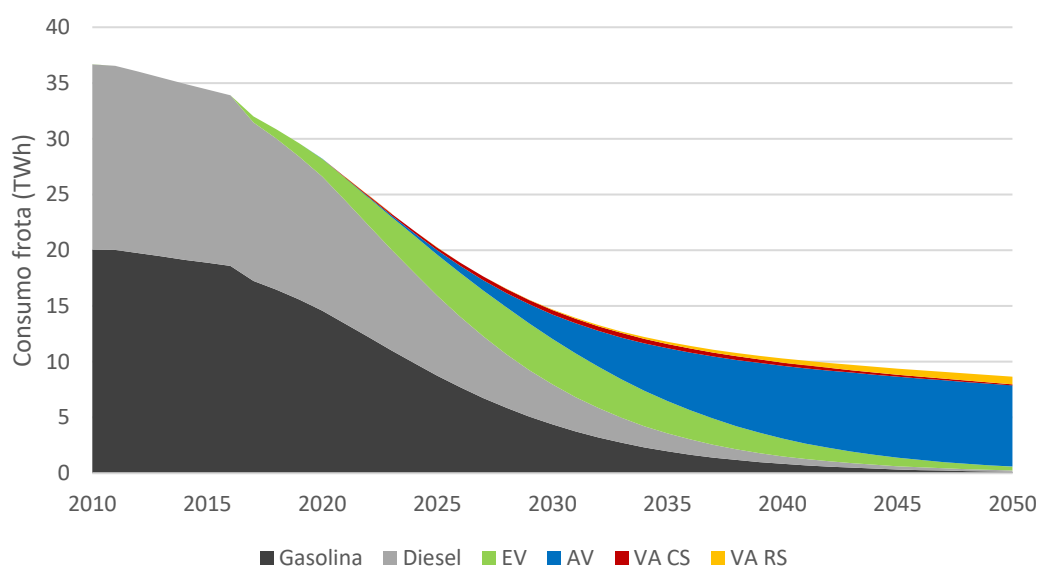


Figura 5-2 - Cenário AA: Projeção do consumo energético da frota total até 2050.

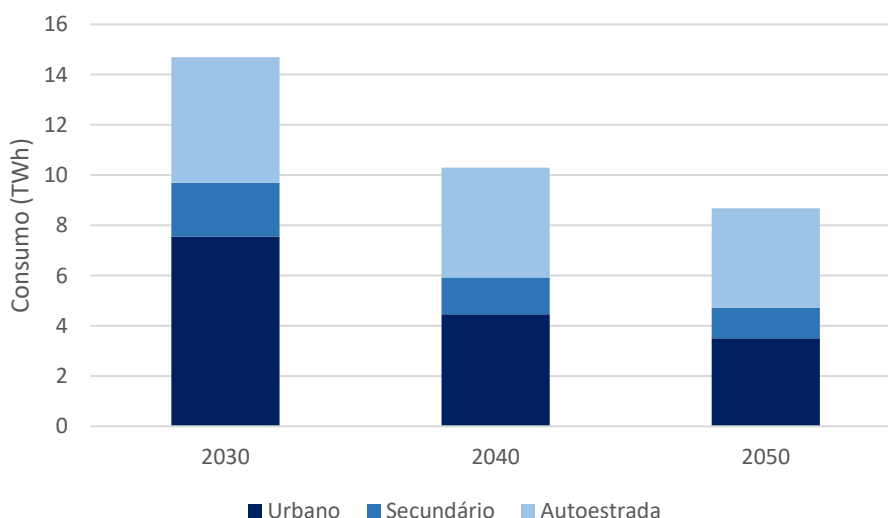


Figura 5-3 – Partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050 no cenário AA.



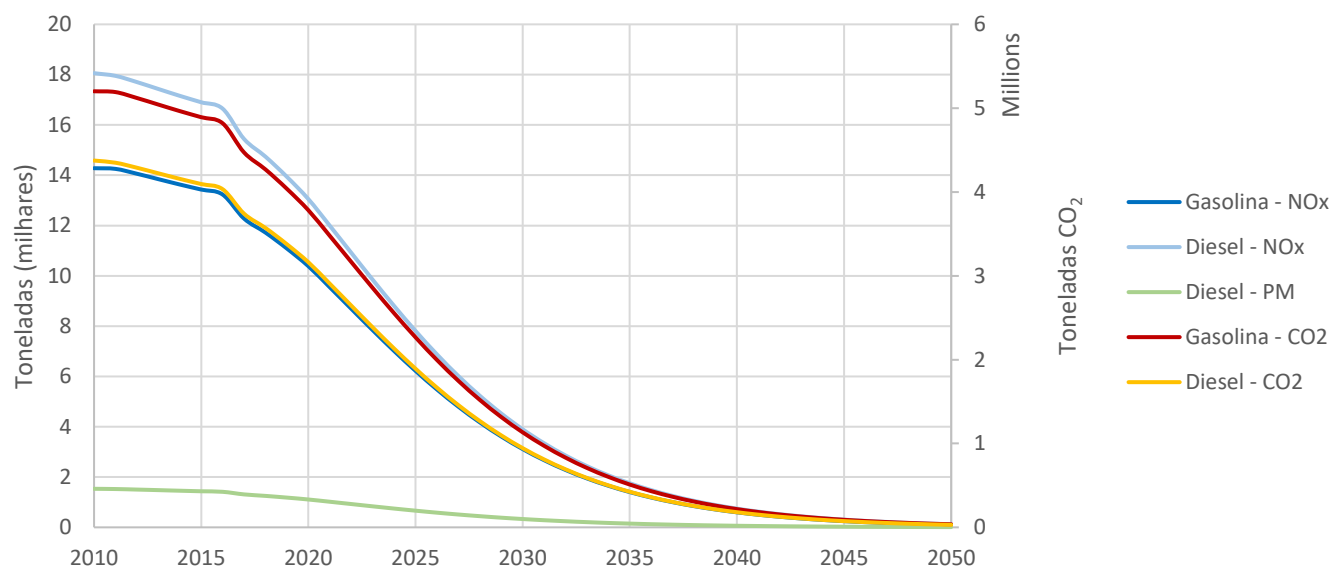


Figura 5-4 - Cenário AA: Projeção de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.

## 5.2. Cenário AB

Este cenário reflete uma conjuntura pouco favorável à venda de veículos com propulsão a eletricidade, embora exista enquadramento para um desenvolvimento rápido da tecnologia automóvel, com reflexo na penetração de AVs. As projeções apontam para uma ligeira diminuição da frota automóvel durante o período considerado. Regista-se uma diminuição para os 4,09 milhões de veículos em 2050, menos 10% do que o inicialmente projetado na Figura 4-4.

A evolução do parque automóvel encontra-se ilustrado na Figura 5-5. Devido à falta de apoio governamental/legislativo, os ICE mantêm-se em maioria no parque automóvel até 2040. Os modelos elétricos começam então a ganhar terreno face aos seus congéneres convencionais. No entanto, a evolução da tecnologia autónoma leva à substituição prematura dos EVs convencionais por AVs, numa fase em que se perspetiva uma grande ascendência nos veículos com propulsão elétrica. Existe algum peso de SAVs, principalmente de veículos em regime de *car sharing*. No final da projeção cerca de metade da frota é ainda constituída por automóveis ICE. Os AVs representam a outra metade, com apenas 4% para SAVs. Os EVs convencionais não existem.

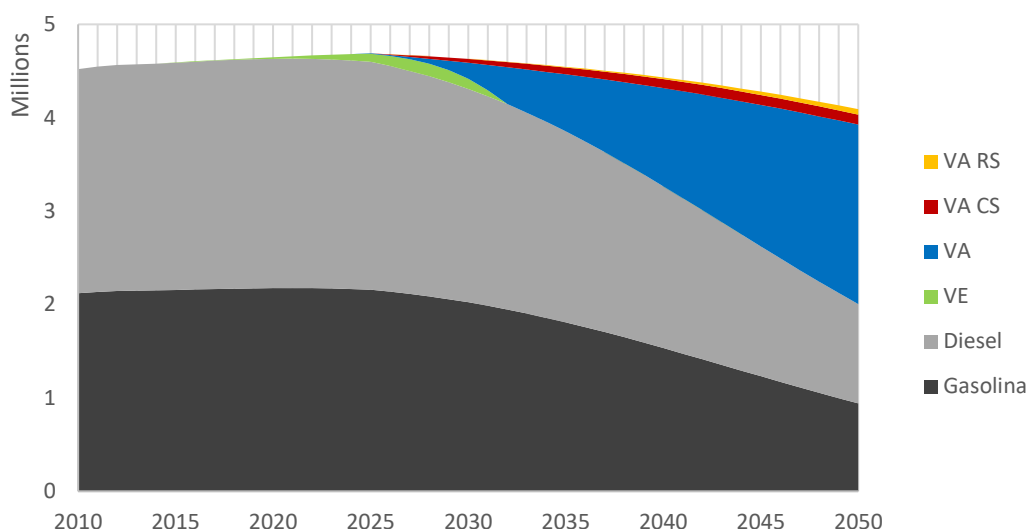


Figura 5-5 - Cenário AB: Projeção da frota de ligeiros de passageiros em Portugal até 2050.

A evolução do consumo energético demonstrado na Figura 5-6 reflete a continuação da preponderância dos veículos ICE. Apenas em 2030 começa a revelar-se significativo o impacto dos veículos movidos a eletricidade, nomeadamente os AVs. Contrastando com a evolução da frota, em 2050 a partição do consumo divide-se entre ICEs e AVs, com os SAVs a assumirem 4% do consumo global.

A Figura 5-7 mostra que o dispêndio de energia em 2030 se cifra nos 25,7 TWh, diminuindo cerca de 27%, para os 18,8 TWh, em 2040, e 48% em 2050, para os 13,3 TWh. A condução urbana na partição entre os vários tipos de estrada mantém-se alta, 58 e 53% em 2030 e 2050, respetivamente. No mesmo período a condução em vias secundárias ronda os 15% e no gasto de energia e as autoestradas 27 e 32%, respetivamente.

As emissões diminuem de forma aproximadamente linear durante o período, como mostra a Figura 5-8. A partir do ano de 2025 essa descida torna-se ligeiramente mais acentuada, por causa dos EVs. Em 2030 as emissões globais são 32% menores do que em 2010, e em 2050, 76%. Visto os cálculos das emissões de escape estarem diretamente relacionados com o dispêndio de energia, a progressão dos restantes gases assume a mesma tendência que o CO<sub>2</sub>.

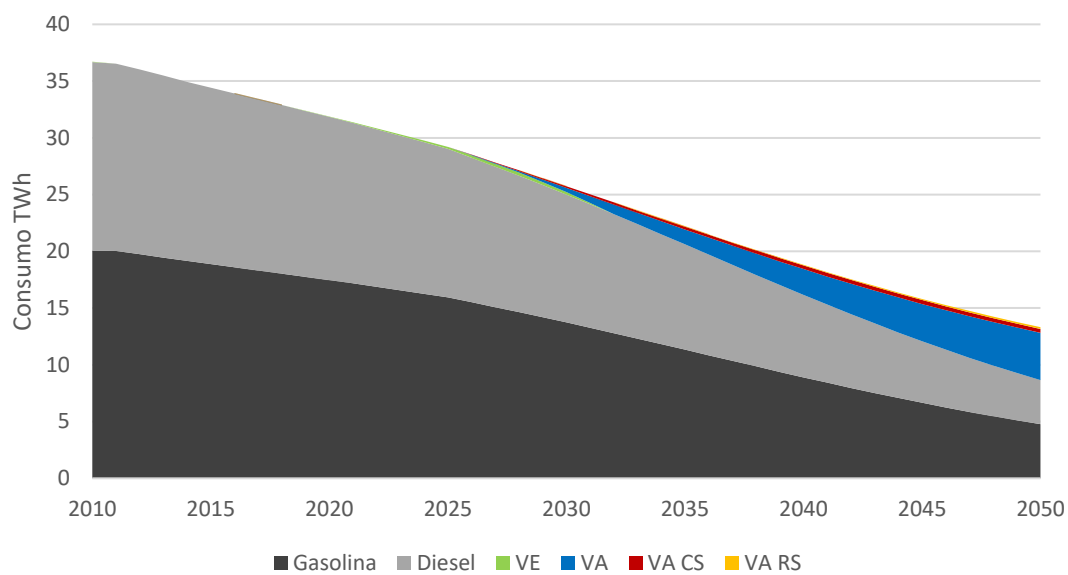


Figura 5-6 - Cenário AB: Projeção do consumo energético da frota para Portugal até 2050.

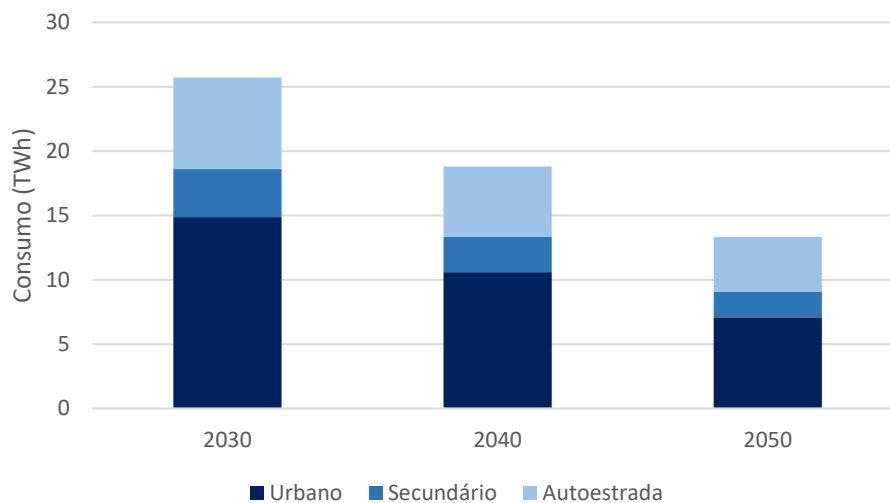


Figura 5-7 - Cenário AB: partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050.

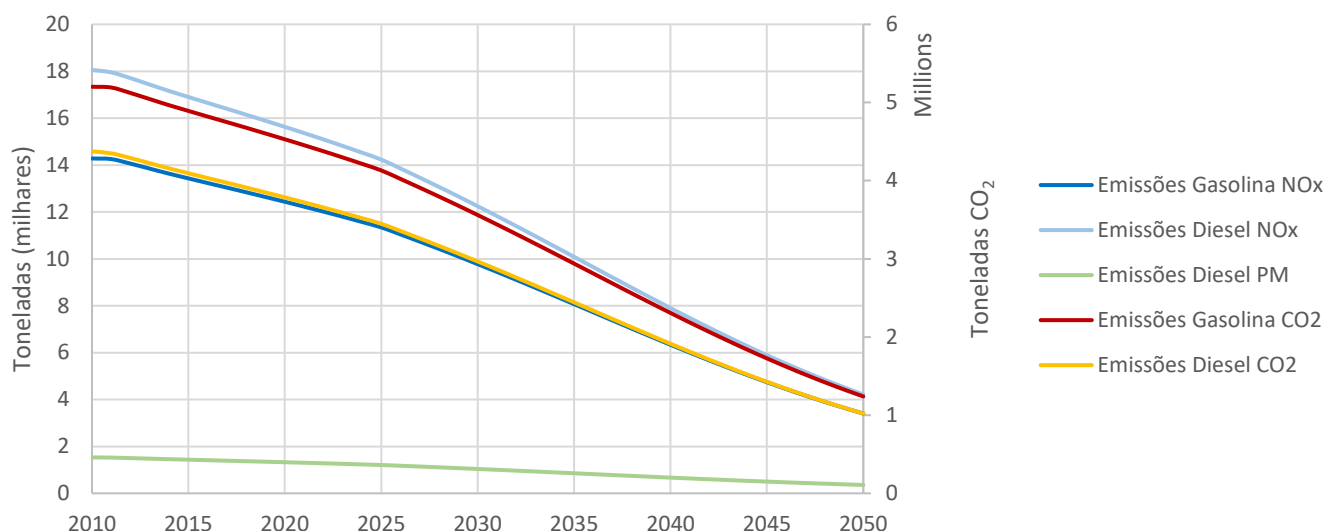


Figura 5-8 - Cenário AB: Projeção de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.

### 5.3. Cenário BA

As pressuposições impostas no cenário BA são opostas às do cenário anterior. Por um lado, os incentivos à compra de EVs são mais fortes, mas a falta de avanços da tecnologia autónoma impossibilita a sua imposição no mercado. Projeta-se uma evolução do número de veículos, apresentada na Figura 5-9, semelhante à do cenário AA. A principal diferença é que no cenário BA a quota de EVs é significativa durante um maior período de tempo, devido à entrada tardia dos AVs no mercado. Outra diferença é o aumento significativo dos SAVs, sobretudo dos veículos usados em *car sharing*. Em 2030 cerca de 67% da frota elétrica, contra 31% de frota ICE. No ano de 2050, a quota de EVs convencionais atinge os 74%, e os AVs e SAVs representam 14% e 10%, respetivamente.

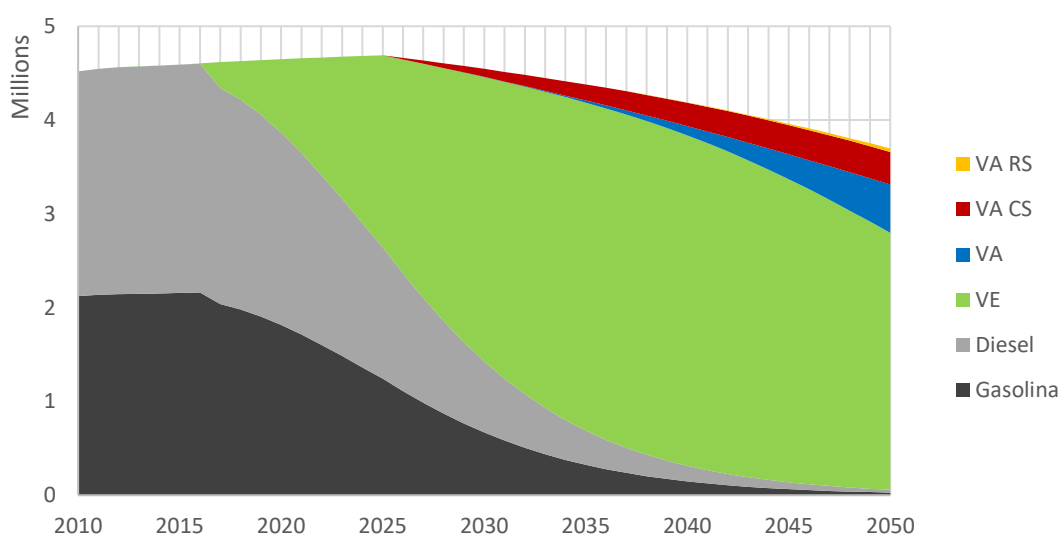


Figura 5-9 – Cenário BA: Projeção da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.

A forte adesão à mobilidade elétrica proporciona uma queda abrupta do consumo de energia no transporte de ligeiros de passageiros, como mostra a Figura 5-10. À semelhança do que sucede no cenário AA, existe uma redução significativa do gasto energético até 2050, ano em que a diminuição atinge os 77%. Em conformidade com o desenvolvimento da frota, o consumo dos veículos ICE é

baixo na década de 2020. Os EVs convencionais passam a predominar no dispêndio de energia, com os AVs e SAVs a ganhar presença a partir de 2040.

A Figura 5-11 mostra que o consumo de energia da frota em 2030 é de 15 TWh. Até 2040 ocorre uma redução para os 9,94 TWh, sucedendo-se uma diminuição para os 8,46 TWh em 2050. Em 2030 metade da energia é consumida em meio urbano, enquanto um terço é despendido em autoestrada, e o remanescente em troços secundários. Em 2040 a contribuição do consumo está deslocada em 5% da condução urbana para autoestrada. No final da projeção a energia consumida pela frota é repartida praticamente de igual forma entre estes dois tipos de condução. O consumo em troços secundários mantém-se inalterado ao longo do período.

A presença em massa dos EVs proporciona uma diminuição de grande amplitude das emissões ao longo da projeção. Como se pode constatar na Figura 5-12, em meados de 2025 os gases poluentes atingem metade do valor de 2010. Em 2050 as emissões de escape são residuais, fruto da fraca presença de ICEs.

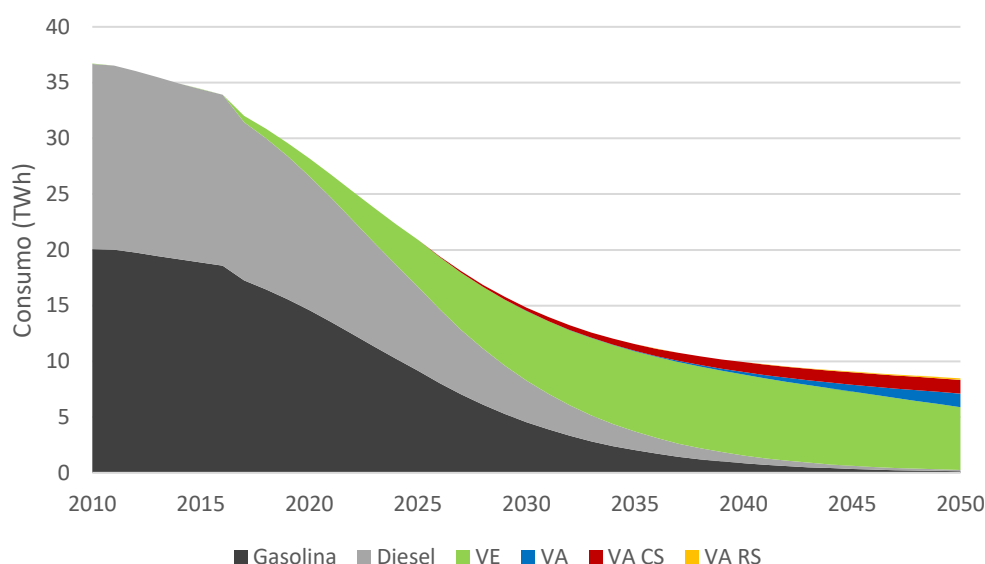


Figura 5-10 - Cenário BA: Projeção do consumo energético da frota para Portugal até 2050.

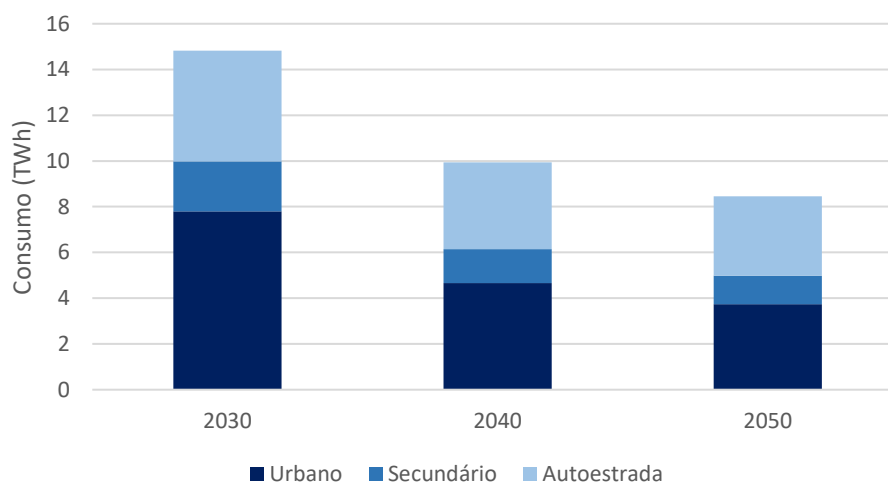
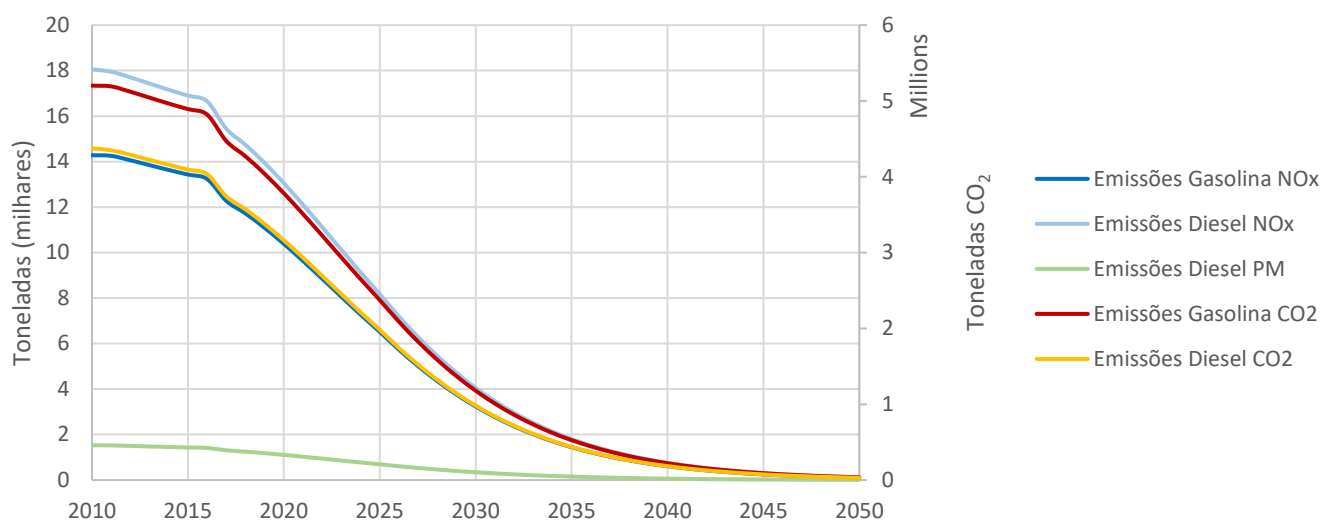


Figura 5-11 - Cenário BA: Partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050.


Figura 5-12 - Cenário BA: Projeção de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.

## 5.4. Cenário BB

O enquadramento legislativo desfavorável à mobilidade elétrica e autónoma, e a menor evolução tecnológica resultam em menor quota de mercado destes veículos. Como mostra a Figura 5-13, o cenário BB apresenta o menor decréscimo do parque automóvel registado em todos os cenários, somando 4,13 milhões de veículos em 2050.

Os EVs apenas em meados de 2030 ganham expressão. O conjunto de circunstâncias tem um maior efeito negativo nos AVs, uma vez que mesmo no final do período os números são diminutos. Os ICE nessa altura são praticamente metade dos veículos em circulação, sendo que em 2030 ainda dominam o parque automóvel, com 94%. Até ao ano de 2040 os modelos elétricos ganham algum destaque, representando nesse ano 23% do parque, enquanto os ICE descem para 74%. Por volta de 2050, os EVs têm uma quota de 40%, os AVs 7%, e os SAVs 5%.

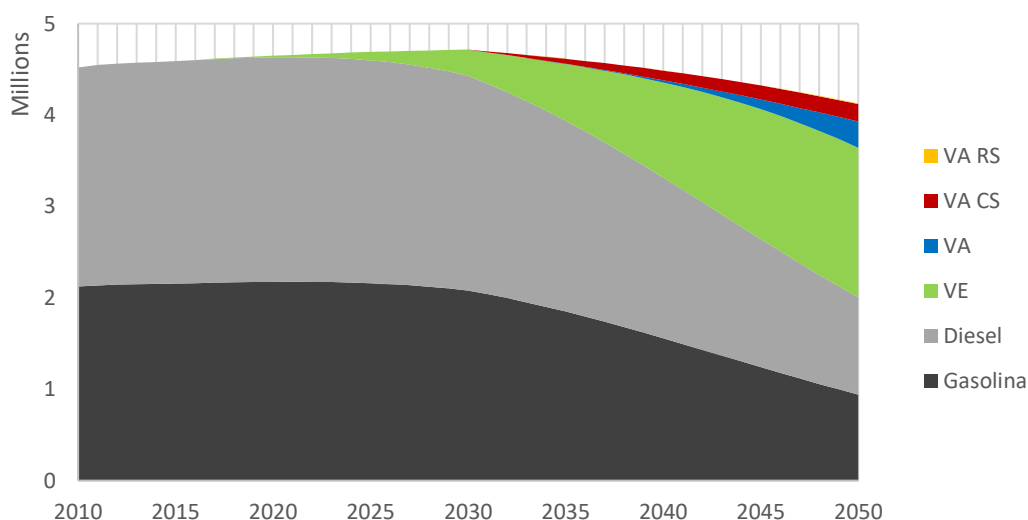


Figura 5-13 – Cenário BB: Projeção da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.

A Figura 5-14 representa a evolução do consumo para este cenário. Em virtude da adesão tardia à mobilidade elétrica, o consumo energético decresce a um ritmo mais baixo do que nos cenários AA e BA. Em 2050 o dispêndio de energia atinge os 13,3 TWh, uma redução de 64% face a 2010.

À semelhança do cenário AB, o consumo neste cenário é dominado pelos ICE. Apenas a partir de 2040 se evidencia uma pequena influência dos sistemas de propulsão a eletricidade, nomeadamente os EVs, com 3,37 TWh. Os AVs e SAVs representam uma parcela insignificante.

A Figura 5-15 mostra que a circulação em meio urbano é o dominante entre 2030 e 2050, com uma partição entre os 58 e 54%, respetivamente. No mesmo período o consumo em autoestrada oscila entre os 27 e 32%, enquanto que o das vias secundárias se mantém em 15%. Em 2030 o consumo global é de 26,3 TWh, descendo para os 18,9 TWh em 2040 e 1,33 TWh em 2050.

A Figura 5-16 representa as emissões de gases de efeito de estufa do parque automóvel. Segundo a projeção, verifica-se aqui uma grande redução comparativamente com os níveis atuais. Em 2030 e 2050 as emissões globais são 30 e 76% mais baixas, respetivamente, relativamente a 2010.

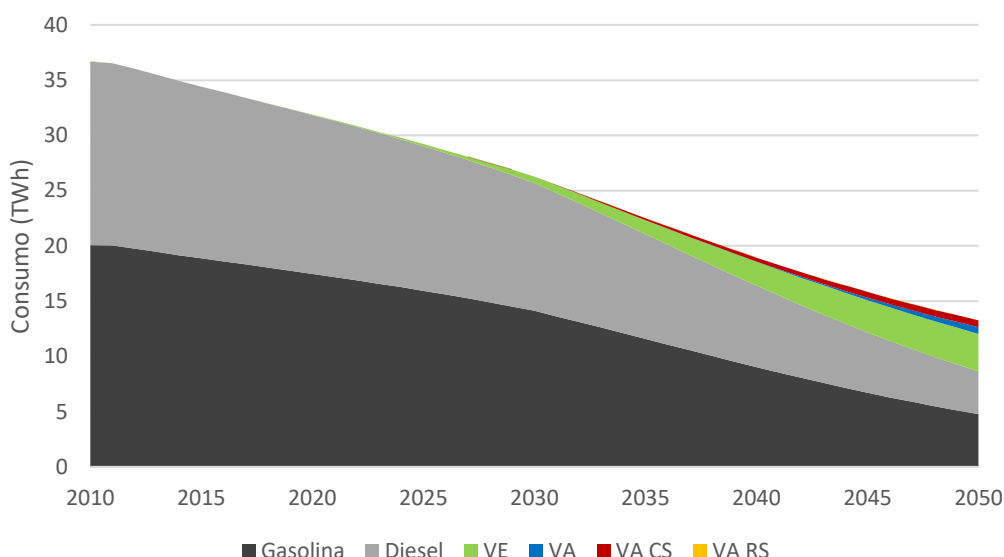


Figura 5-14 – Cenário BB: Projeção do consumo energético da frota para Portugal até 2050.

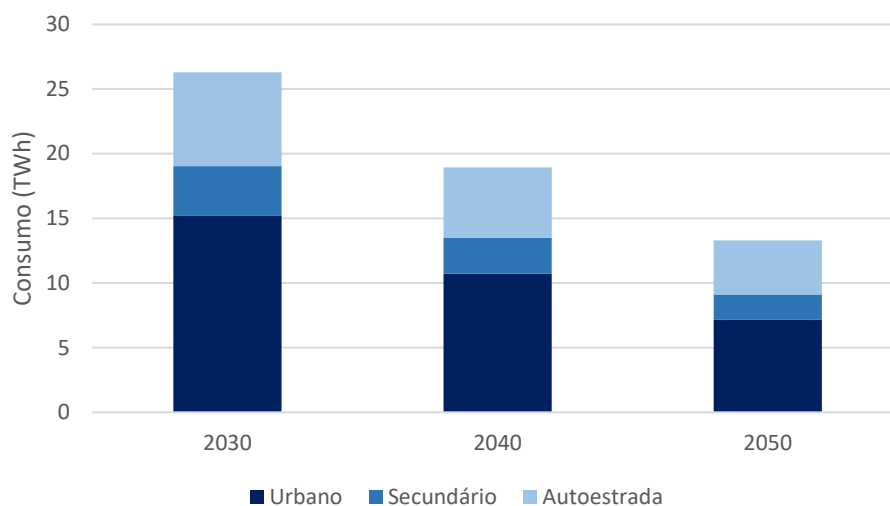


Figura 5-15 – Cenário BB: Partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050.

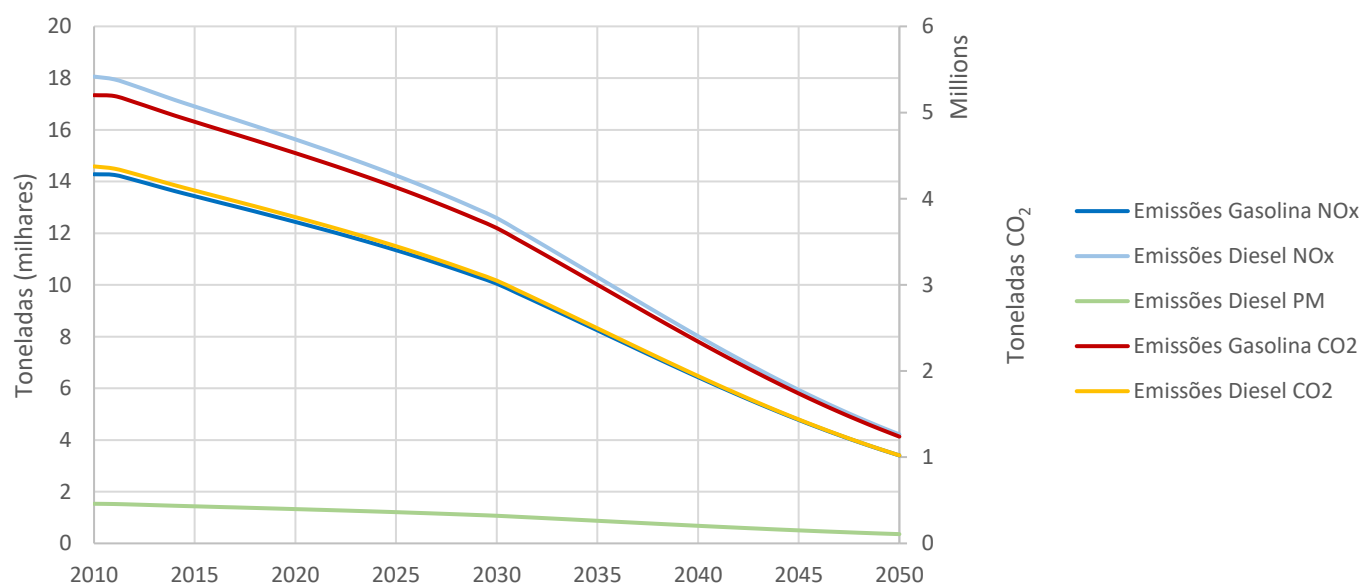


Figura 5-16 – Cenário BB: Projeção de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.



## 5.5. Cenário CC

Este cenário representa um progresso mais equilibrado que o dos demais cenários no tocante aos mecanismos do enquadramento legislativo e desenvolvimento tecnológico. A Figura 5-17 mostra a evolução da frota automóvel, identificando-se que a partição entre veículos convencionais e elétricos é igual em meados da década de 30. Em 2050 projeta-se que existam cerca de 3,85 milhões de veículos em circulação.

Neste cenário (Figura 5-17) os EVs começam a ganhar expressão a partir de 2025, mas é a partir de 2035 que representam 50% do parque. Nesse período, as vendas de AVs começam a crescer, fazendo-os representar 57% do número total de veículos em 2050. No final da projeção os EVs convencionais representam 29% do parque automóvel e os ICE 9%, cabendo aos SAVs 6%.

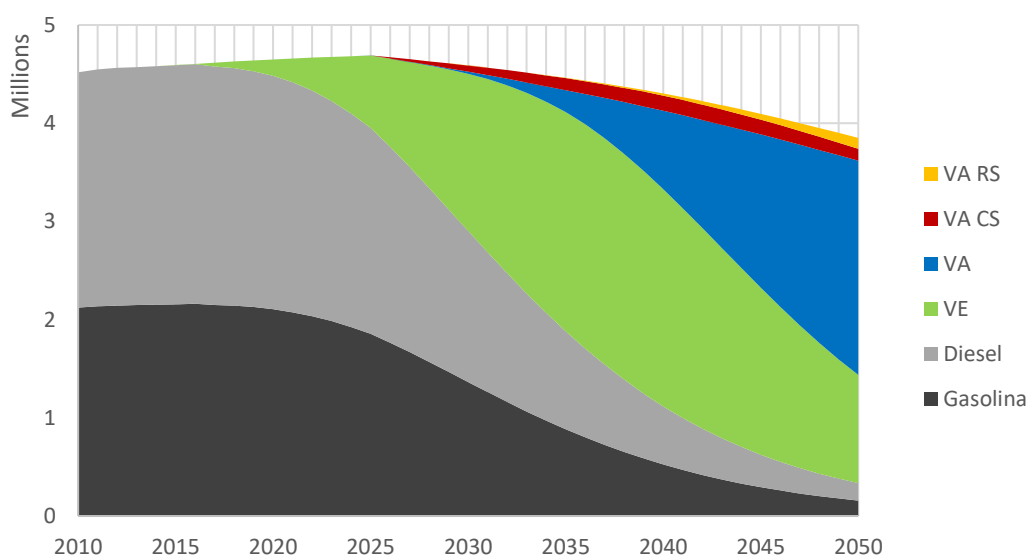


Figura 5-17 - Cenário CC: Projeção da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.

A Figura 5-18 demonstra a evolução do consumo de energia. Os ICE dominam o consumo de energia da frota até 2030, altura em que os EVs passam a deter uma posição de relevo. Em 2040 mais de metade do consumo é feito por EVs e AVs, mais concretamente 36% e 15%, respetivamente. Neste ano os SAVs são responsáveis por 5% do consumo e os ICE 44%. Em 2050 verifica-se que os veículos convencionais só são responsáveis por 15% do consumo. Os AVs originam 53% do consumo energético, deixando para trás os EVs, com uma parcela de 24%. Os SAVs são responsáveis por 8% do consumo, que no total é de 9,64 TWh.

A Figura 5-19 representa os tipos de condução e as suas contribuições para o consumo. De 2030 para 2050 observa-se uma evolução para o equilíbrio entre a condução urbana e em autoestrada: enquanto a primeira desce dos 56% para os 44%, o inverso acontece com a segunda, subindo dos 29% para os 42%. Em 2030 o consumo geral da frota é de 20,41 TWh.

A Figura 5-20 apresenta a evolução das emissões de gases poluentes da frota automóvel. Esta projeção aponta para que as emissões de escape sejam quase nulas em 2050. Em 2030 o CO<sub>2</sub> emitido é 54% mais baixo comparativamente com 2010, e no ano de 2050 a redução é de 96%.

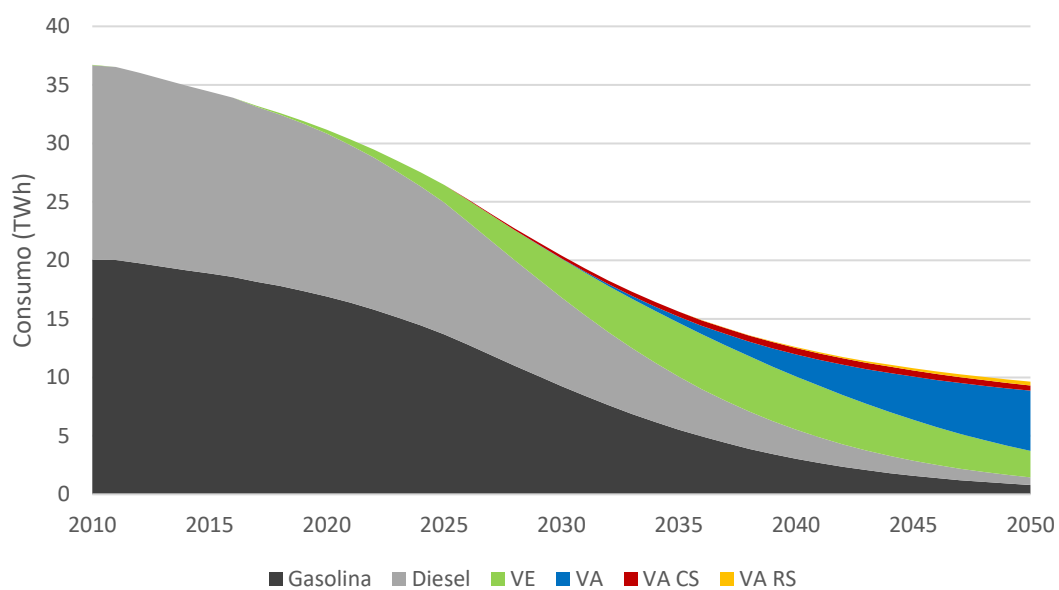


Figura 5-18 - Cenário CC: Projeção do consumo energético da frota para Portugal até 2050.

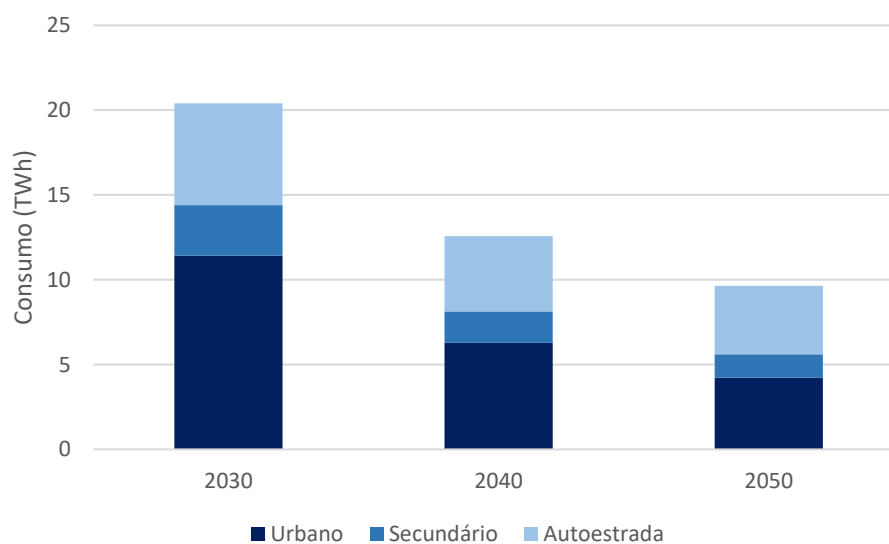


Figura 5-19 – Cenário CC: Partição do consumo entre os vários tipos de estrada em 2030, 2040 e 2050.

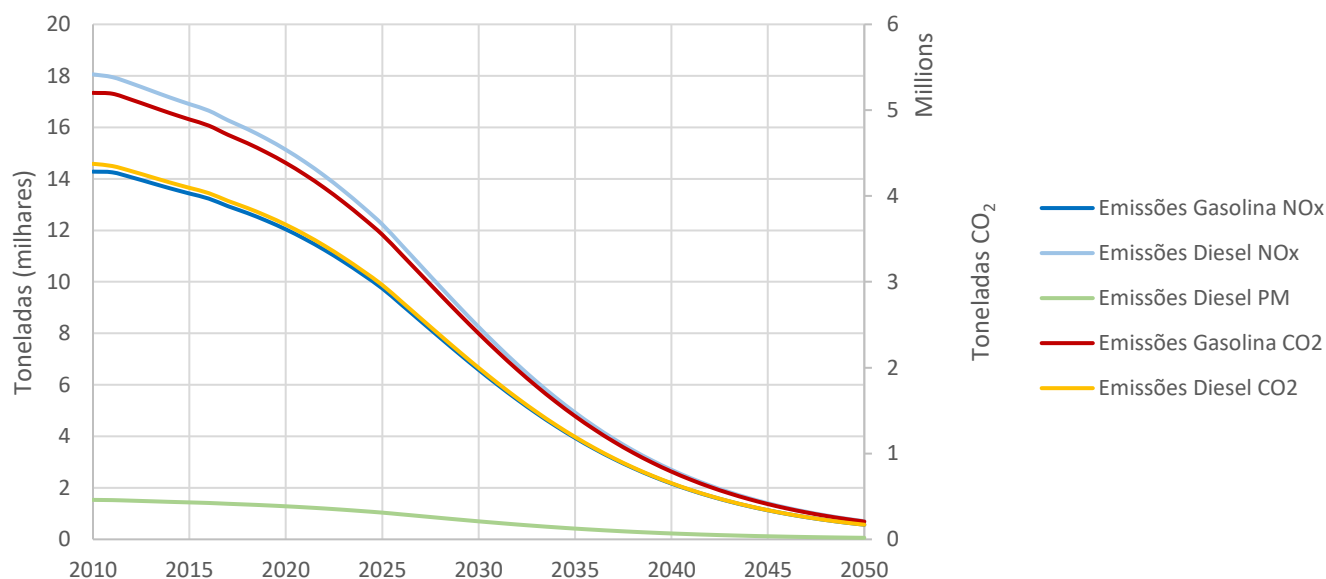


Figura 5-20 - Cenário CC: Projeção de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM 2.5 da frota de ligeiros de passageiros de Portugal até 2050.

## 5.6. Análise global

Dada a quantidade de incertezas associadas a análises de longo prazo, os cenários quiseram-se o mais diversos possível e representativos das diversas conjunturas plausíveis para os fatores em jogo.

Como suma, as Figura 5-21 e Figura 5-22 mostram a evolução dos consumos de energia final globais e as emissões de CO<sub>2</sub> dos cinco cenários entre 2010 e 2050.

Analisando os resultados comparados é possível constatar que:

- Os cenários em que o enquadramento legislativo não é favorável à mobilidade elétrica (cenários AB e BB), dificultando a transição do atual sistema, são aqueles em que se observa um menor decréscimo dos consumos da frota. No final do período esses cenários apresentam uma redução de 64% do consumo relativamente a 2010. Os cenários que contemplam um enquadramento favorável à mobilidade elétrica (cenários AA e BA) mostram uma redução de 77%. O cenário CC, que contempla evolução tecnológica e enquadramento mais equilibrados face aos restantes cenários, resulta numa diminuição de consumo de energia e emissões mais próxima dos cenários AA e BA.
- Como é possível constatar na Figura 5-24, em 2050 existe uma diferença de quase 40% no consumo de energia entre os cenários mais favoráveis (AA e BA) e os mais pessimistas (AB e BB). Para o cenário CC projeta-se uma diferença de cerca de 30% face aos piores casos.
- Estando as emissões atmosféricas diretamente relacionadas com a energia despendida por veículo, os piores cenários são o AB e BB. Entre 2010 e 2050 a redução proporcionada pelos dois cenários corresponde a 76%. Os cenários AA e BA sugerem que não existe emissões de escape em 2050, devido a praticamente não circularem veículos convencionais. O cenário CC demonstra uma redução de 96% das emissões de gases de efeito de estufa.
- Considerando que o transporte privado é responsável por 50% do consumo global do setor (Figura 1-1), significa que a redução refletida pelos cenários (entre 64 e 77%) traduz-se numa diminuição entre 32 e 38,5% de consumo energético no setor dos transportes.

- Os cenários que se situam na mesma posição do eixo relativamente ao enquadramento legislativo registam comportamentos semelhantes em termos de energia final e emissões. Salienta-se que, apesar do cenário AA e AB preverem um maior número de AVs, o *rebound effect* anula poupanças energéticas, nivelando o uso de energia final.
- Do ponto de vista da penetração de AVs, os resultados aproximam-se do previsto em [67] , i.e., constata-se que os cenários se enquadram nessas projeções (Figura 5-25).

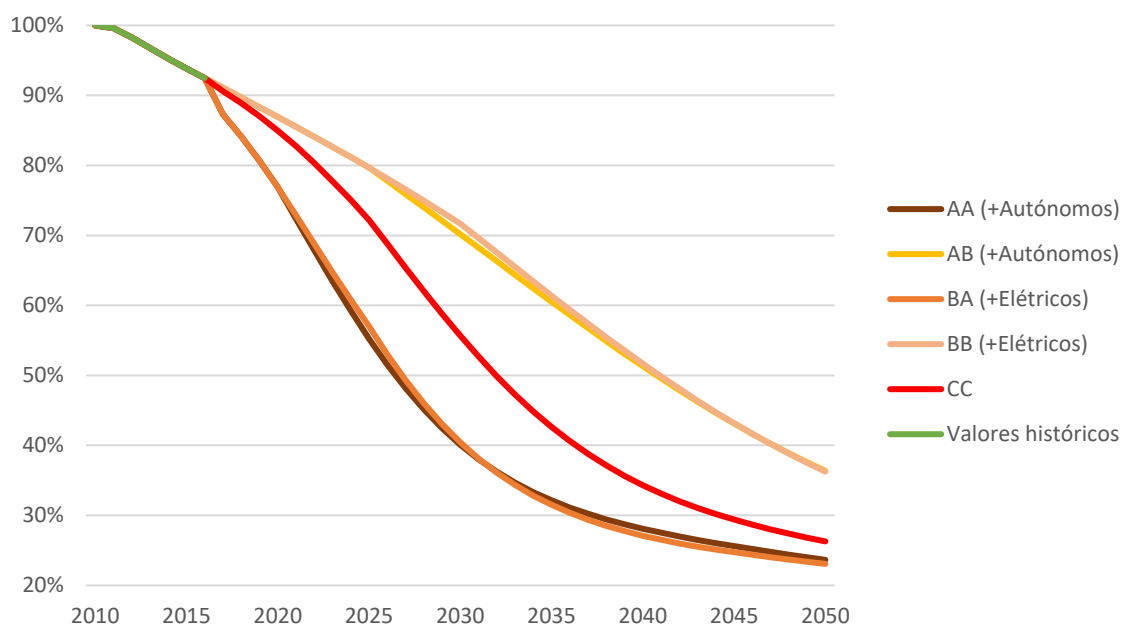


Figura 5-21 - Evolução relativa a 2010 do consumo de energia final nos cenários.

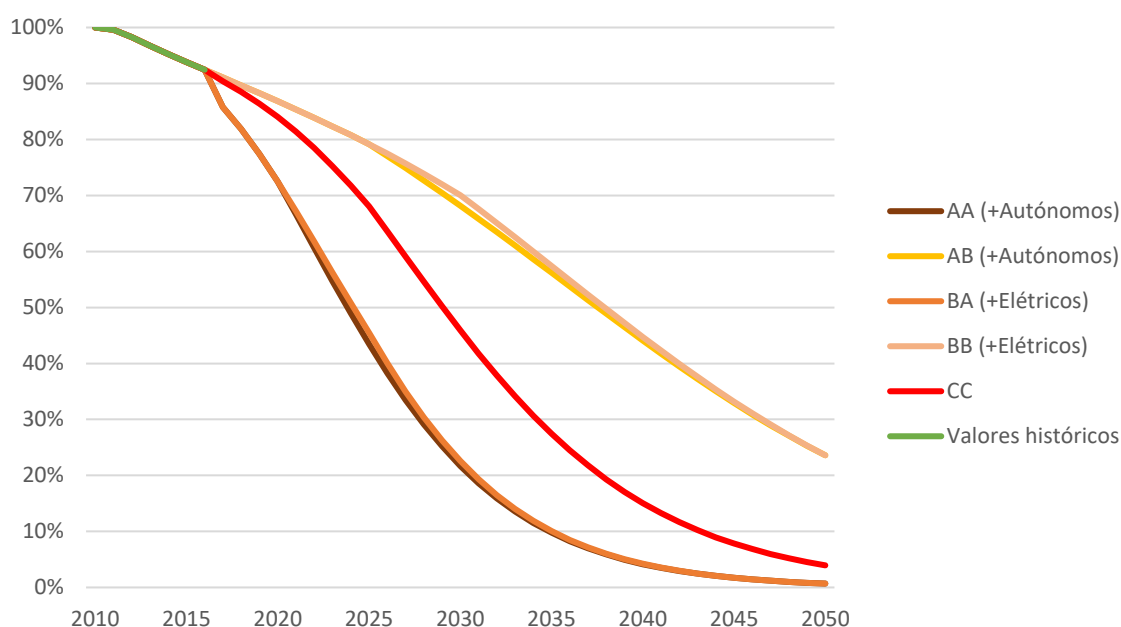


Figura 5-22 - Evolução das emissões de CO2 relativas a 2010 nos cenários.

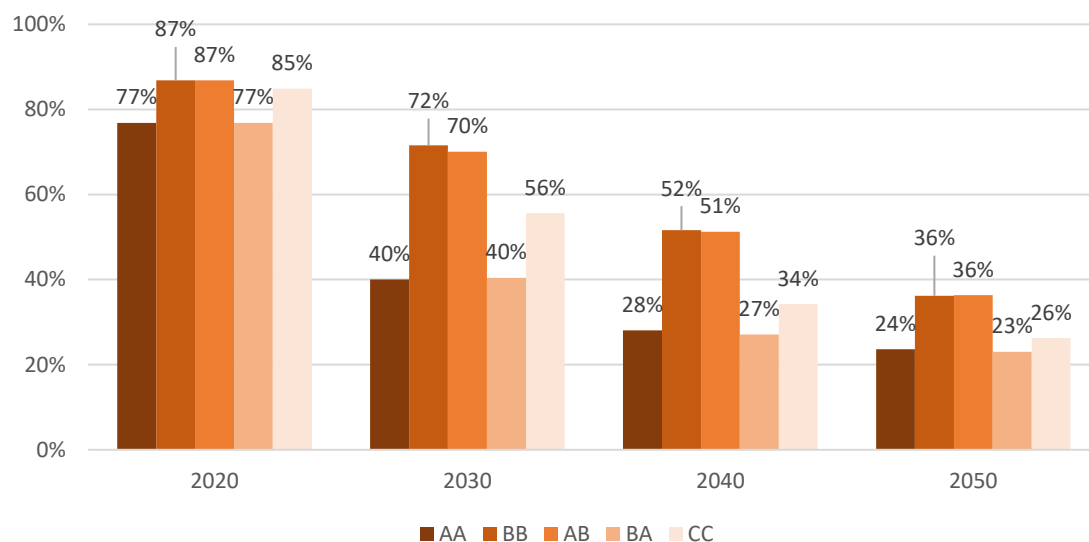


Figura 5-23 – Consumo energético dos cenários em 2020, 2030, 2040 e 2050, relativos a 2010.

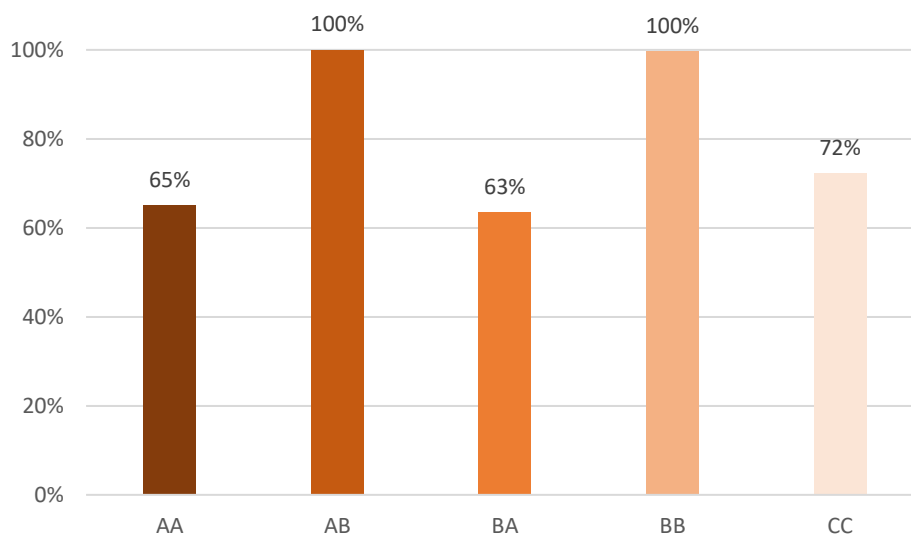


Figura 5-24 – Consumo relativo de energia em 2050 para os vários cenários.

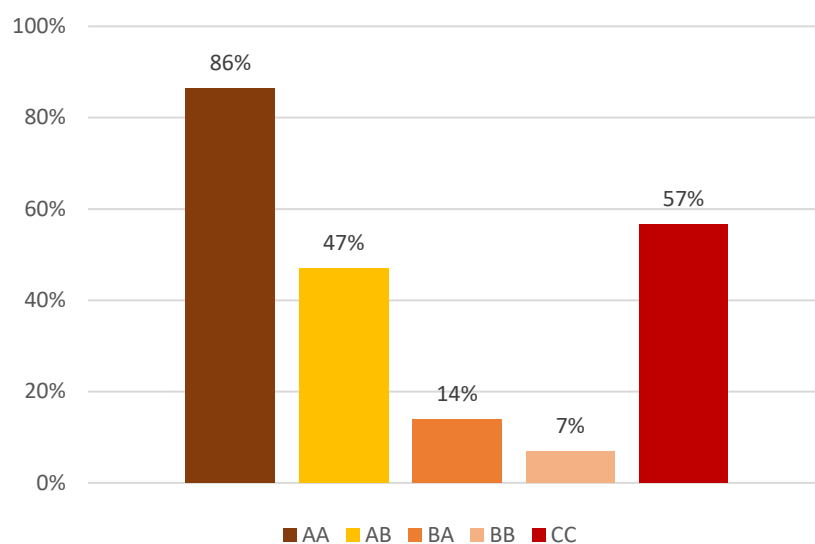


Figura 5-25 - Penetração de AVs em 2050.

## Secção 6. Conclusões

Nesta dissertação foram desenvolvidos e testados possíveis cenários para a evolução até 2050 em Portugal do parque automóvel, e do seu consumo energético e emissões. Os cenários assentam em suposições de índole governamental, tecnológicas e sociais. Pretendeu-se fazer uma análise comparativa a um ponto de referência (2010) e comparativa entre cenários.

A frota foi modelada de forma que os vários sistemas em foco evoluíssem dinamicamente, e em conformidade com o enquadramento legislativo e o desenvolvimento tecnológico. Uma vez que a mobilidade elétrica terá uma forte difusão no futuro, em paralelo com a mobilidade autónoma, foi dado realce a estas tecnologias. Os cenários foram desenvolvidos a partir da projeção de dados históricos e de pressupostos baseados na revisão da literatura que foi efetuada. Um dos cenários, o central, corresponde a uma evolução moderada e equilibrada dos fatores legislação e tecnologia, e os restantes cenários apresentam evoluções extremadas num ou nos dois fatores.

A análise dos cenários permitiu concluir que o fator com maior influência na evolução do parque automóvel é o enquadramento legislativo e a forma como a mobilidade elétrica será incentivada. Os cenários em que o enquadramento legislativo é favorável à propulsão elétrica preveem uma redução de 77% do consumo energético em 2050. Apesar de a tecnologia autónoma proporcionar um menor consumo elétrico do que os veículos elétricos convencionais (considerando as mesmas distâncias percorridas), ao ter em conta outros fatores, como um *rebound effect* nas viagens de automóvel, é plausível que a mesma não proporcione ganhos ambientais significativos. Assim, o consumo energético global em 2050 é praticamente o mesmo com maior ou menor penetração de veículos autónomos. Na situação inversa, em que a conjuntura governamental e social impossibilita uma maior penetração de veículos com propulsão elétrica, as reduções de consumo cifram-se nos 64%, em virtude da sua adoção e do aumento de eficiência dos veículos de combustão interna. Num cenário mais neutro, o consumo pode baixar cerca de 74%.

Salienta-se que, apesar das diferenças nas penetrações dos vários tipos de veículos considerados apresentadas em cada cenário, é o enquadramento legislativo que possui maior relevância na energia final e emissões do setor dos transportes. No geral, os valores finais de consumo são similares. A explicação reside nas melhorias de eficiência dos veículos de combustão interna e ao baixo consumo de veículos com propulsão elétrica.

Os resultados apresentados nesta dissertação têm larga margem de latitude, por se tratarem de projeções a longo prazo com fatores imprevisíveis. Contudo, as vendas globais de veículos elétricos puros têm superado as previsões, pelo que mesmo os cenários de alta difusão da mobilidade elétrica são realizáveis. A situação portuguesa é francamente má no panorama dos transportes, e este é um ponto de charneira para uma inversão da situação, mas que depende da tomada de decisões políticas acertadas. Tal como sugerem os resultados deste trabalho, o enquadramento legislativo e apoios governamentais são fulcrais para uma melhor e mais sustentável mobilidade em Portugal. A automação dos veículos era um tema considerado utópico num passado recente. No entanto, as mais recentes evoluções tecnológicas permitiram a imergência de algumas dessas características na maioria dos construtores automóveis atualmente. Prevê-se que na próxima década se inicie uma explosão da tecnologia com a entrada de vários modelos capazes de se auto conduzir, ou seja, veículos totalmente autónomos. Contudo, terá de existir uma adaptação da sociedade e de infraestruturas para que estes veículos sejam integrados no parque automóvel como o conhecemos.

O progresso da tecnologia automóvel indica que a propulsão elétrica e a automação deverão coexistir no futuro. É esperada uma substituição gradual dos veículos elétricos por autónomos de nível 4, com os veículos de nível 5 a surgirem perto de 2030. Porém, o futuro dos veículos autónomos poderá ter maior importância na partilha de veículos. Os serviços de *car sharing* e *ride sharing* têm procura em crescendo, embora em Portugal a sua utilização ainda seja baixa. A automação poderá melhorar substancialmente a qualidade e potencialidade destes serviços, possibilitando a recolha dos clientes em qualquer ponto, assim como a redução dos tempos de espera. A conjugação da partilha de veículos com os autónomos é sinérgica.

O setor dos transportes encontra-se em transição, com a mobilidade elétrica a ganhar relevo. As preocupações com alterações climáticas têm um papel muito relevante na mudança de paradigma, sendo esperada uma diminuição gradual dos veículos convencionais em circulação. Anúncios recentes apontam mesmo para a interdição destes veículos nalgumas cidades europeias a partir de meados da década de 2020, com o objetivo de reduzir as emissões locais. Por outro lado, a tecnologia autónoma, chegue ao mercado mais cedo ou mais tarde que o esperado, terá efeitos disruptivos na sociedade. Juntando a este contexto a emergência dos serviços de mobilidade partilhada, estão criadas as condições para a mobilidade a médio/longo prazo deixar de ser como a conhecemos.

## 6.1. Desenvolvimentos futuros

Em futuros desenvolvimentos deste trabalho sugere-se:

- 1) Diferenciar zonas urbanas (maior concentração de veículos) e rurais. O estudo cingiu-se ao país como um todo, apesar da maior parte dos veículos circularem em zonas urbanas. Neste contexto, sugere-se alterar uma distribuição da circulação por via mais espelhante da circulação automóvel de Portugal.
- 2) Aprofundar a análise dos impactos tecnológicos individuais e agregados nos veículos autónomos. Existem outras implicações energéticas para além das consideradas neste trabalho, nomeadamente menor tempo despendido (ou nenhum) para estacionamento dos veículos, ou a sua utilização com uma maior taxa de ocupação.
- 3) Contabilizar emissões dos veículos elétricos provenientes do carregamento com recurso a fontes de energia fósseis. Esta dissertação apenas contabilizou as emissões locais.
- 4) Ter em conta as oscilações do PIB *per capita*. As projeções para o PIB em Portugal podem ser consideradas como um fator influenciador das vendas de veículos elétricos puros e autónomos, algo não considerado.
- 5) Maior importância dos veículos autónomos partilhados. A partilha de veículos encontra-se em expansão, e é possível que no futuro seja dominante, por contraponto ao uso de automóvel privado.





## Secção 7. Referências Bibliográficas

- [1] “Climate Change: Vital Signs of the Planet: Global Temperature,” 2017. [Online]. Available: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>. [Accessed: 28-Mar-2017].
- [2] P. Cazzola, T. Park, and J. Teter, “Energy analysis and modelling Transport. IEA Energy Training Week,” no. June, 2015.
- [3] M. Roser and Ortiz-Ospina Esteban, “World Population Growth.” [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/world-population-growth/>.
- [4] N. Filip and C. Popa, “The Role of Transportation in Economic,” *ResearchGate*, no. July, pp. 1–3, 2016.
- [5] European Commission, EU Reference Scenario 2016: Energy, Transport and GHG emissions trends to 2050. 2016.
- [6] “Volkswagen. Morte de quase 38 mil pessoas em 2015 atribuída ao ‘dieselgate.’” [Online]. Available: <https://www.publico.pt/2017/05/15/ciencia/noticia/morreram-38-mil-pessoas-em-2015-por-causa-do-dieselgate-1772241>. [Accessed: 07-Oct-2017].
- [7] B. Cici, A. Markopoulou, E. Frias-Martinez, and N. Laoutaris, “Assessing the Potential of Ride-Sharing Using Mobile and Social Data: A Tale of Four Cities,” *ACM Int. Conf. Ubiquitous Comput.*, pp. 201–211, 2014.
- [8] “Which Country Will Become the First to Ban Internal Combustion Cars? | Greentech Media.” [Online]. Available: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/what-country-will-become-the-first-to-ban-internal-combustion-cars#gs.Oxw8pp4>. [Accessed: 02-Oct-2017].
- [9] International Energy Agency, “Global EV Outlook 2017: Two million and counting,” *IEA Publ.*, pp. 1–71, 2017.
- [10] Bloomberg New Energy Finance, “Electric vehicle outlook 2017,” no. July, pp. 1–5, 2017.
- [11] “The Science Behind Hybrid Vehicles.” [Online]. Available: <https://blogs.umass.edu/p139eck/2012/10/23/the-science-behind-hybrid-vehicles/>. [Accessed: 30-Mar-2017].
- [12] “Hybrid Systems - Drive Technologies - Siemens.”
- [13] “Series vs Parallel vs Series/Parallel Drivetrains.” [Online]. Available: <http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/series-vs-parallel-drivetrains#.WN0BcvnyvIU>. [Accessed: 30-Mar-2017].
- [14] “Hybrid | OICA.” [Online]. Available: <http://www.oica.net/category/auto-and-fuels/alternative-fuels/hybrid/>. [Accessed: 15-Jun-2017].
- [15] “Fuelling change: The Toyota Prius Story | drivemeonline.com.” [Online]. Available: <http://drivemeonline.com/fuelling-change-the-toyota-prius-story/>. [Accessed: 15-Aug-2017].

- [16] “7 Plug-In Hybrids With the Most Electric Range in 2016.” [Online]. Available: <https://www.cheatsheet.com/automobiles/plug-in-hybrids-electric-range-2016.html/?a=viewall>. [Accessed: 09-Nov-2017].
- [17] “Electric Vehicle Basics | Hawaii Electric Light.” [Online]. Available: <https://www.hawaiielectriclight.com/clean-energy-hawaii/electric-vehicles/electric-vehicle-basics>. [Accessed: 02-Aug-2017].
- [18] “Fuel Economy.” [Online]. Available: <http://www.fueleconomy.gov/feg/PowerSearch.do?action=PowerSearch&year1=2016&year2=2017&minmsrp sel=0&maxmsrp sel=0&city=0&highway=0&combined=0&cbvtelectric=Electric&YearSel=2016-2017&MakeSel=&MarClassSel=&FuelTypeSel=&VehTypeSel=Electric&TranySel=&DriveType>. [Accessed: 10-Sep-2017].
- [19] L. Vanhaverbeke, D. Schreurs, Q. De Clerck, M. Messagie, and J. Van Mierlo, “Total cost of ownership of electric vehicles incorporating Vehicle to Grid technology,” *2017 12th Int. Conf. Ecol. Veh. Renew. Energies, EVER 2017*, 2017.
- [20] “10 Electric Vehicles With the Best Range in 2017.” [Online]. Available: <https://www.cheatsheet.com/automobiles/electric-vehicles-with-the-longest-driving-range.html/?a=viewall>. [Accessed: 05-Sep-2017].
- [21] “Where the Energy Goes: Gasoline Vehicles.” [Online]. Available: <http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>. [Accessed: 10-Sep-2017].
- [22] “Where the Energy Goes: Electric Cars.” [Online]. Available: <http://www.fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml>. [Accessed: 10-Sep-2017].
- [23] J. Poliscanova, “Diesel: the true (dirty) story,” *Health Care (Don. Mills)*.
- [24] J. W. Brennan and T. E. Barder, “Battery Electric Vehicles vs . Internal Combustion Engine Vehicles,” p. 48, 2016.
- [25] “Battery Lifetime: How Long Can Electric Vehicle Batteries Last? | CleanTechnica.” [Online]. Available: <https://cleantechnica.com/2016/05/31/battery-lifetime-long-can-electric-vehicle-batteries-last/>. [Accessed: 21-Feb-2018].
- [26] “Nissan LEAF Replacement Battery Cost = \$5,499 | CleanTechnica.” [Online]. Available: <https://cleantechnica.com/2017/10/04/nissan-leaf-replacement-battery-will-cost-5499/>. [Accessed: 11-Nov-2017].
- [27] “Future electric cars: The battery powered tech cars that will be on the roads within the next 5 years - Pocket-lint.” [Online]. Available: <https://www.pocket-lint.com/cars/news/140845-future-cars-upcoming-electronic-cars-of-the-future-coming-soon>. [Accessed: 30-Mar-2018].
- [28] “Big Oil Just Woke Up to Threat of Rising Electric Car Demand - Bloomberg.” [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-07-14/big-oil-just-woke-up-to-the-threat-of-rising-electric-car-demand>. [Accessed: 12-Oct-2017].

- [29] “Volts wagons: Electric cars are set to arrive far more speedily than anticipated | The Economist.” [Online]. Available: <http://www.economist.com/news/business/21717070-carmakers-face-short-term-pain-and-long-term-gain-electric-cars-are-set-arrive-far-more?cid1=cust/ednew/n/bl/n/20170216n/owned/n/n/nwl/n/n/EU/8885810/n>. [Accessed: 22-May-2017].
- [30] Bloomberg New Energy Finance, “When Will Electric Vehicles be Cheaper than Conventional Vehicles?,” 2017.
- [31] International Energy Agency, “Global EV Outlook 2016 Electric Vehicles Initiative,” *Iea*, p. 51, 2016.
- [32] “Comparing the Top 5 European Countries For Electric Vehicle Adoption.” [Online]. Available: [http://www.fleetcarma.com/european-countries-electric-vehicle-adoption/?utm\\_campaign=%5BBlog%5D+Comparing+the+Top+5+European+Countries+For+Electric+Vehicle+Adoption&utm\\_content=promo&utm\\_source=email&utm\\_campaign=%5BBlog%5D+Comparing+t](http://www.fleetcarma.com/european-countries-electric-vehicle-adoption/?utm_campaign=%5BBlog%5D+Comparing+the+Top+5+European+Countries+For+Electric+Vehicle+Adoption&utm_content=promo&utm_source=email&utm_campaign=%5BBlog%5D+Comparing+t). [Accessed: 05-Sep-2017].
- [33] “Incentivos fiscais à compra de carros elétricos em 2017 - E-Konomista.” [Online]. Available: <http://www.e-konomista.pt/artigo/incentivos-fiscais-a-compra-de-carros-eletricos/>. [Accessed: 05-Sep-2017].
- [34] “Electric Vehicles: Tax Credits and Other Incentives | Department of Energy.” [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/electricvehicles/electric-vehicles-tax-credits-and-other-incentives>. [Accessed: 10-Jan-2018].
- [35] “Shifting Gears: Investing in China’s Electric Vehicles Market - China Briefing News.” [Online]. Available: <http://www.china-briefing.com/news/2016/05/11/china-shifts-gears-electric-vehicles.html>. [Accessed: 05-Sep-2017].
- [36] “Environmental Impact of Electric Vehicles | EnergySage.” [Online]. Available: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/advantages-of-evs/evs-environmental-impact/>. [Accessed: 03-Feb-2018].
- [37] World Energy Council, *Global Transport Scenarios 2050*. 2011.
- [38] John Moavenzadeh, Mariana Torres-Montoya, and T. Gange, “Repowering Transport,” *Repowering Transp. was Prod.*, no. February, 2011.
- [39] “Gas Stations Get Ready for the Electric Future - Bloomberg.” [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-11-06/tomorrow-s-gas-station-will-charge-car-feed-you-in-10-minutes>. [Accessed: 22-Mar-2018].
- [40] D. Guo and C. Zhou, “Potential performance analysis and future trend prediction of electric vehicle with V2G/V2H/V2B capability,” *AIMS Energy*, vol. 4, no. 2, pp. 331–346, 2016.
- [41] F. Lambert, “Electric vehicle battery cost dropped 80% in 6 years down to \$227/kWh – Tesla claims to be below \$190/kWh | Electrek,” *electrek*, 2017. [Online]. Available:

<https://electrek.co/2017/01/30/electric-vehicle-battery-cost-dropped-80-6-years-227kwh-tesla-190kwh/>. [Accessed: 15-Mar-2017].

[42] On-Road Automated Driving (ORAD) committee, “Automated Driving,” *SAE Int.*, p. 2, 2014.

[43] “Updated: Autonomous driving levels 0 to 5: Understanding the differences - TechRepublic.” [Online]. Available: <http://www.techrepublic.com/article/autonomous-driving-levels-0-to-5-understanding-the-differences/>. [Accessed: 04-Sep-2017].

[44] “Home - Global engineering, environmental and strategic consultancy.” [Online]. Available: <https://ricardo.com/>. [Accessed: 10-Jan-2018].

[45] “Timeline: The future of driverless cars, from Audi to Volvo.” [Online]. Available: <http://mashable.com/2016/08/26/autonomous-car-timeline-and-tech/#NJmLYLiZpEqC>. [Accessed: 01-Sep-2017].

[46] T. Litman, “Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning,” *Transp. Res. Board Annu. Meet.*, vol. 42, no. 2014, pp. 36–42, 2014.

[47] “The Top 4 Potential Benefits of Self-Driving Vehicles - 9 Clouds.” [Online]. Available: <https://9clouds.com/blog/potential-benefits-of-self-driving-vehicles/>. [Accessed: 04-Sep-2017].

[48] “Quanto custam ao país os acidentes rodoviários? 15 mil milhões de euros em 10 anos – O Jornal Económico.” [Online]. Available: <http://www.jornaleconomico.sapo.pt/noticias/quanto-custam-ao-pais-os-acidentes-rodoviarios-15-mil-milhoes-de-euros-em-10-anos-211652>. [Accessed: 04-Sep-2017].

[49] “Time: Meaning, Importance and Value of Time - Important India.” [Online]. Available: <http://www.importantindia.com/2430/time-meaning-importance-and-value-of-time/>. [Accessed: 04-Sep-2017].

[50] “Which European commuters spend the most time in traffic jams? | Euronews.” [Online]. Available: <http://www.euronews.com/2018/02/07/which-european-commuters-spend-the-most-time-in-traffic-jams->. [Accessed: 18-Mar-2018].

[51] “Exame Informática | A caminho dos carros autónomos.” [Online]. Available: <http://exameinformatica.sapo.pt/lifestyle/carros/2016-02-23-A-caminho-dos-carros-autonomos>. [Accessed: 06-Sep-2017].

[52] J.-F. Bonnefon, A. Shariff, and I. Rahwan, “The social dilemma of autonomous vehicles,” *Science* (80-. ), vol. 352, no. 6293, pp. 1573–1576, Jun. 2016.

[53] “The Ethics of Autonomous Cars - The Atlantic.” [Online]. Available: <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/10/the-ethics-of-autonomous-cars/280360/>. [Accessed: 06-Sep-2017].

[54] Z. Wadud, D. Mackenzie, and P. Leiby, “Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles,” Elsevier Ltd, 2016.

- [55] A. Brown, J. Gonder, and B. Repac, “An Analysis of Possible Energy Impacts of Automated Vehicle,” 2014.
- [56] A. Chao, *On the Road toward 2050* : 2015.
- [57] “The Pathway to Driverless Cars: A detailed review of regulations for automated vehicle technologies.”
- [58] “Autonomous Vehicles | Self-Driving Vehicles Enacted Legislation.” [Online]. Available: <http://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx>. [Accessed: 06-Sep-2017].
- [59] “Autonomous Vehicle Safety Regulation World Congress 2017.” [Online]. Available: <http://www.autonomousregulationscongress.com/>. [Accessed: 10-Sep-2017].
- [60] “What’s Ahead for Car Sharing?” [Online]. Available: <https://www.bcg.com/publications/2016/automotive-whats-ahead-car-sharing-new-mobility-its-impact-vehicle-sales.aspx>. [Accessed: 15-Apr-2018].
- [61] OECD - International Transport Forum, “Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic,” *Corp. Partnersh. Board Rep.*, pp. 1–36, 2015.
- [62] “DataBank | The World Bank.” [Online]. Available: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx>. [Accessed: 30-Apr-2017].
- [63] I. T. F. T. Outlook, *ITF Transport Outlook 2017*. 2017.
- [64] “ACAP | Balanco Do Ano E Perspectivas Para 2017 Acap Preve Crescimento Residual Do Sector Automovel Para Este Ano.” [Online]. Available: <https://acap.pt/pt/noticia/3139/balanco-do-ano-e-perspectivas-para-2017-acap-preve-crescimento-residual-do-sector-automovel-para-este-ano/>. [Accessed: 31-Aug-2017].
- [65] “PORDATA - Estatísticas, gráficos e indicadores de Municípios, Portugal e Europa.” [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/>. [Accessed: 31-Aug-2017].
- [66] X. Li, E. Wang, and C. Zhang, “Prediction of electric vehicle ownership based on Gompertz model,” *2014 IEEE Int. Conf. Inf. Autom. ICIA 2014*, no. July, pp. 87–91, 2014.
- [67] D. Milakis and P. Del, “Scenarios about development and implications of automated vehicles,” no. January, 2015.
- [68] U. Nations, *2017 INLAND TRANSPORT STATISTICS The UNECE Transport Statistics for Europe and North America Volume LVIII*, vol. LVIII. 2017.
- [69] E. Union and R. Federation, “Road Statistics Yearbook 2016,” no. 32, pp. 1–90, 2016.
- [70] APA, “Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990 - 2015,” pp. 1990–2015, 2017.
- [71] Associação Automóvel de Portugal, “Do Sector,” 2017.

- [72] “Renault - Clio III (facelift 2009) - 1.5 dCi (75 Hp) - Technical specifications, Fuel economy (consumption).” [Online]. Available: [https://www.auto-data.net/en/?f=showCar&car\\_id=10408](https://www.auto-data.net/en/?f=showCar&car_id=10408). [Accessed: 05-Oct-2017].
- [73] “Renault - Clio III (facelift 2009) - 1.1 i 16V (75 Hp) - Technical specifications, Fuel economy (consumption).” [Online]. Available: [https://www.auto-data.net/en/?f=showCar&car\\_id=10402](https://www.auto-data.net/en/?f=showCar&car_id=10402). [Accessed: 05-Oct-2017].
- [74] “NEDC, New European Driving Cycle | InfoMotor.com.br.” [Online]. Available: <http://www.infomotor.com.br/site/2011/10/nedc-new-european-driving-cycle/>. [Accessed: 07-Sep-2017].
- [75] “EQUA Index - Independent real-world driving data.” [Online]. Available: <http://equaindex.com/>. [Accessed: 25-Aug-2017].
- [76] C. Kouridis *et al.*, “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016,” no. June, 2017.
- [77] “Expresso | Vendas de carros elétricos disparam em Portugal.” [Online]. Available: <http://expresso.sapo.pt/economia/2017-09-24-Vendas-de-carros-eletricos-disparam-em-Portugal>. [Accessed: 10-Jun-2017].
- [78] “2017 Nissan Leaf.” [Online]. Available: <https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=38428>. [Accessed: 25-Oct-2017].

## Secção 8. Anexos

Tabela 8-1 – Vendas anuais de PEVs (milhares). Fonte: IEA.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Canada</b>	-	-	-	0,22	0,62	1,64	2,83	4,38	5,22
<b>China</b>	-	0,48	1,09	4,75	9,64	14,61	48,91	146,72	257
<b>França</b>	-	0,1	0,18	2,63	5,66	8,76	10,56	17,27	21,76
<b>Alemanha</b>	0,07	0,02	0,14	1,4	2,21	5,31	8,35	12,08	11,32
<b>India</b>	0,37	0,16	0,35	0,45	1,43	0,19	0,41	1	0,45
<b>Japão</b>	-	1,08	2,44	12,61	13,47	14,76	16,11	10,47	15,46
<b>Coreia do Sul</b>	-	-	0,06	0,28	0,64	0,67	1,26	2,54	5,1
<b>Holanda</b>	0,01	0,03	0,12	0,86	0,79	2,25	2,66	2,54	3,74
<b>Noruega</b>	0,24	0,15	0,39	1,84	4,18	8,2	18,09	27,79	29,52
<b>Portugal</b>	-	-	0,02	0,2	0,06	0,17	0,2	0,64	0,784
<b>Suécia</b>	-	-	-	0,18	0,27	0,43	1,24	2,96	2,95
<b>Reino Unido</b>	0,22	0,18	0,26	1,21	1,71	2,68	6,81	10,1	10,51
<b>Estados Unidos</b>	1,47	-	1,19	9,75	14,65	47,69	63,42	71,04	86,73
<b>Outros</b>	0,08	0,03	0,14	2,18	2,59	4,79	8,8	15,47	15,886
<b>Total</b>	2,46	2,23	6,38	38,56	57,92	112,15	189,65	325	466,43

Tabela 8-2 – Vendas anuais de PHEVs (milhares). Fonte: IEA.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Canada</b>	-	0,3	1,4	1,48	2,24	2,58	6,36
<b>China</b>	0,34	0,32	0,26	0,73	24,27	60,66	79
<b>França</b>	-	0,1	0,6	0,83	2,07	5,68	7,75
<b>Alemanha</b>	-	0,24	1,16	1,62	4,4	11,11	13,29
<b>India</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Japão</b>	-	0,02	10,97	14,12	16,18	14,19	9,39
<b>Coreia do Sul</b>	-	-	-	-	-	0,27	0,16
<b>Holanda</b>	-	0,02	4,33	20,16	12,43	41,23	20,74
<b>Noruega</b>	-	-	0,33	0,32	1,68	7,82	20,66
<b>Portugal</b>	-	-	0,03	0,04	0,1	0,54	1,089
<b>Suécia</b>	-	-	0,66	1,12	3,43	5,63	10,47
<b>Reino Unido</b>	0,02	0,01	0,99	1,07	7,9	19,24	27,4
<b>Estados Unidos</b>	-	7,98	38,59	49,01	55,36	42,83	72,89
<b>Outros</b>	0,02	0,06	0,96	1,05	3,66	9,97	17,551
<b>Total</b>	0,38	9,05	60,28	91,55	133,72	221,75	286,75



Tabela 8-3 – *Stock* anual de PEVs (milhares). Fonte: IEA.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Canada</b>	-	-	-	0,22	0,84	2,48	5,31	9,69	14,91
<b>China</b>	-	0,48	1,57	6,32	15,96	30,57	79,48	226,2	483,2
<b>França</b>	-	0,1	0,28	2,91	8,57	17,33	27,89	45,16	66,92
<b>Alemanha</b>	0,07	0,09	0,23	1,63	3,84	9,15	17,5	29,58	40,9
<b>Índia</b>	0,37	0,53	0,88	1,33	2,76	2,95	3,36	4,36	4,81
<b>Japão</b>	-	1,08	3,52	16,13	29,6	44,36	60,47	70,94	86,4
<b>Coreia do Sul</b>	-	-	0,06	0,34	0,98	1,65	2,91	5,45	10,55
<b>Holanda</b>	0,01	0,04	0,16	1,02	1,81	4,06	6,72	9,26	13
<b>Noruega</b>	0,24	0,39	0,78	2,62	6,8	15	33,09	60,88	90,4
<b>Portugal</b>	-	-	0,02	0,22	0,28	0,45	0,65	1,29	2,074
<b>Suécia</b>	-	-	-	0,18	0,45	0,88	2,12	5,08	8,03
<b>Reino Unido</b>	0,22	0,4	0,66	1,87	3,58	6,26	13,07	23,17	33,68
<b>Estados Unidos</b>	1,47	1,47	2,66	12,41	27,06	74,75	138,17	209,21	295,94
<b>Outros</b>	0,08	0,11	0,25	2,43	5,02	9,81	18,61	34,08	49,966
<b>Total</b>	2,46	4,69	11,07	49,63	107,55	219,7	409,35	734,35	1200,78

Tabela 8-4 – *Stock* anual de PHEVs (milhares). Fonte: IEA.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Canada</b>	-	0,3	1,7	3,18	5,42	8,00	14,36
<b>China</b>	0,34	0,66	0,92	1,65	25,92	86,58	165,58
<b>França</b>	-	0,1	0,7	1,53	3,6	9,28	17,03
<b>Alemanha</b>	-	0,24	1,4	3,02	7,42	18,53	31,82
<b>Índia</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Japão</b>	-	0,02	10,99	25,11	41,29	55,48	64,87
<b>Coreia do Sul</b>	-	-	-	-	-	0,27	0,43
<b>Holanda</b>	-	0,02	4,35	24,51	36,94	78,17	98,91
<b>Noruega</b>	-	-	0,33	0,65	2,33	10,15	30,81
<b>Portugal</b>	-	-	0,03	0,07	0,17	0,71	1,799
<b>Suécia</b>	-	-	0,66	1,78	5,21	10,84	21,31
<b>Reino Unido</b>	0,02	0,03	1,02	2,09	9,99	29,23	56,63
<b>Estados Unidos</b>	-	7,98	46,57	95,58	150,94	193,77	266,66
<b>Outros</b>	0,02	0,08	1,04	2,09	5,75	15,72	33,271
<b>Total</b>	0,38	9,43	69,71	161,26	294,98	516,73	803,48

Tabela 8-5 – Evolução do *market-share* de PEVs e PHEVs. Fonte: IEA.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Canadá</b>	-	-	-	-	0,15%	0,20%	0,29%	0,39%	0,59%
<b>China</b>	-	-	0,01%	0,04%	0,06%	0,09%	0,38%	0,99%	1,37%
<b>França</b>	-	-	0,01%	0,13%	0,34%	0,55%	0,72%	1,22%	1,46%
<b>Alemanha</b>	-	-	0,00%	0,05%	0,11%	0,23%	0,42%	0,72%	0,73%
<b>Índia</b>	0,02%	0,01%	0,01%	0,02%	0,05%	0,01%	0,02%	0,04%	0,02%
<b>Japão</b>	-	0,03%	0,06%	0,35%	0,53%	0,63%	0,68%	0,58%	0,59%
<b>Coreia do Sul</b>	-	-	-	0,02%	0,04%	0,05%	0,09%	0,21%	0,34%
<b>Holanda</b>	-	0,01%	0,02%	0,16%	1,02%	5,38%	3,89%	9,74%	6,39%
<b>Noruega</b>	0,22%	0,15%	0,31%	1,33%	3,27%	6,00%	13,71%	23,63%	28,76%
<b>Portugal</b>	-	-	0,01%	0,10%	0,10%	0,20%	0,20%	0,70%	0,91%
<b>Suécia</b>	-	-	-	0,05%	0,31%	0,53%	1,44%	2,37%	3,41%
<b>Reino Unido</b>	0,01%	0,01%	0,01%	0,06%	0,13%	0,17%	0,60%	1,11%	1,41%
<b>Estados Unidos</b>	0,01%	-	0,01%	0,17%	0,44%	0,75%	0,74%	0,67%	0,91%
<b>Outros</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,06%	0,10%	0,21%	0,38%	0,52%
<b>Total</b>	0,01%	0,01%	0,01%	0,10%	0,23%	0,38%	0,54%	0,85%	1,10%

Tabela 8-6 – Projeção do índice de motorização [63], população [62] e veículos ligeiros de passageiros em Portugal até 2050.

	<b>Índice de motorização</b>	<b>População</b>	<b>Total de veículos</b>
<b>2010</b>	0,43	10.573.100	4.519.049
<b>2011</b>	0,43	10.557.560	4.547.931
<b>2012</b>	0,43	10.514.844	4.563.990
<b>2013</b>	0,44	10.457.295	4.572.366
<b>2014</b>	0,44	10.401.062	4.580.044
<b>2015</b>	0,44	10.358.076	4.592.340
<b>2016</b>	0,45	10.318.000	4.604.773
<b>2017</b>	0,45	10.279.000	4.616.554
<b>2018</b>	0,45	10.242.000	4.628.120
<b>2019</b>	0,45	10.205.000	4.638.590
<b>2020</b>	0,46	10.170.000	4.648.886
<b>2021</b>	0,46	10.135.000	4.658.114
<b>2022</b>	0,46	10.102.000	4.667.208
<b>2023</b>	0,46	10.069.000	4.675.261
<b>2024</b>	0,47	10.038.000	4.683.216
<b>2025</b>	0,47	10.007.000	4.690.157
<b>2026</b>	0,47	9.977.000	4.696.562
<b>2027</b>	0,47	9.947.000	4.701.973
<b>2028</b>	0,47	9.919.000	4.707.347
<b>2029</b>	0,48	9.891.000	4.711.750
<b>2030</b>	0,48	9.863.000	4.715.189
<b>2031</b>	0,48	9.836.000	4.718.151
<b>2032</b>	0,48	9.809.000	4.720.167
<b>2033</b>	0,48	9.782.000	4.721.244
<b>2034</b>	0,48	9.755.000	4.721.389
<b>2035</b>	0,49	9.729.000	4.721.095
<b>2036</b>	0,49	9.702.000	4.719.398
<b>2037</b>	0,49	9.674.000	4.716.304
<b>2038</b>	0,49	9.645.000	4.711.815
<b>2039</b>	0,49	9.616.000	4.706.427
<b>2040</b>	0,49	9.585.000	4.699.165
<b>2041</b>	0,49	9.553.000	4.690.525
<b>2042</b>	0,49	9.520.000	4.680.512
<b>2043</b>	0,49	9.485.000	4.668.641
<b>2044</b>	0,49	9.448.000	4.654.917
<b>2045</b>	0,49	9.411.000	4.640.334
<b>2046</b>	0,49	9.372.000	4.623.916
<b>2047</b>	0,49	9.332.000	4.606.162
<b>2048</b>	0,49	9.291.000	4.587.085
<b>2049</b>	0,49	9.249.000	4.566.693
<b>2050</b>	0,49	9.204.000	4.544.011

Tabela 8-7 - Projeção da eficiência [56] e de consumo para veículos a Diesel entre 2010 e 2050.

	Progressão	Consumo (L/100km)	Consumo anual (MWh)	Emissões		
				CO2 (kg)	Nox (kg)	PM (g)
2010	1,00	5,55	6,93	1.826	7,54	640
2011	0,98	5,49	6,85	1.803	7,44	632
2012	0,97	5,39	6,73	1.772	7,32	621
2013	0,95	5,30	6,61	1.742	7,19	610
2014	0,93	5,21	6,50	1.712	7,07	600
2015	0,92	5,12	6,39	1.682	6,94	589
2016	0,90	5,03	6,28	1.653	6,82	579
2017	0,88	4,94	6,17	1.625	6,71	569
2018	0,87	4,86	6,06	1.597	6,59	559
2019	0,85	4,77	5,96	1.569	6,48	550
2020	0,84	4,69	5,85	1.542	6,36	540
2021	0,82	4,61	5,75	1.515	6,25	531
2022	0,81	4,53	5,65	1.489	6,15	522
2023	0,79	4,45	5,56	1.464	6,04	513
2024	0,78	4,38	5,46	1.439	5,94	504
2025	0,77	4,30	5,37	1.414	5,84	495
2026	0,75	4,23	5,28	1.390	5,74	487
2027	0,74	4,16	5,19	1.366	5,64	479
2028	0,73	4,09	5,10	1.343	5,54	471
2029	0,71	4,02	5,01	1.321	5,45	463
2030	0,70	3,95	4,93	1.299	5,36	455
2031	0,69	3,88	4,85	1.277	5,27	447
2032	0,68	3,82	4,77	1.256	5,18	440
2033	0,67	3,76	4,69	1.235	5,10	433
2034	0,66	3,70	4,61	1.215	5,02	426
2035	0,64	3,64	4,54	1.195	4,93	419
2036	0,63	3,58	4,47	1.176	4,86	412
2037	0,62	3,52	4,39	1.158	4,78	406
2038	0,61	3,47	4,33	1.140	4,70	399
2039	0,60	3,41	4,26	1.122	4,63	393
2040	0,59	3,36	4,19	1.105	4,56	387
2041	0,58	3,31	4,13	1.088	4,49	381
2042	0,58	3,26	4,07	1.072	4,42	376
2043	0,57	3,21	4,01	1.056	4,36	370
2044	0,56	3,17	3,95	1.041	4,30	365
2045	0,55	3,12	3,90	1.027	4,24	360
2046	0,54	3,08	3,84	1.012	4,18	355
2047	0,53	3,04	3,79	999	4,12	350
2048	0,53	3,00	3,74	985	4,07	345
2049	0,52	2,96	3,69	973	4,02	341
2050	0,51	2,92	3,65	961	3,96	337

Tabela 8-8 - Projeção da eficiência [56] e de consumo para a veículos a gasolina entre 2010 e 2050.

	Progressão	Consumo (L/100km)	Consumo anual (MWh)	Emissões		
				CO2 (kg)	Nox (kg)	PM (g)
2010	1,00	8,32	9,45	2.451	6,73	23,1
2011	0,99	8,26	9,37	2.431	6,67	22,9
2012	0,97	8,12	9,21	2.389	6,56	22,5
2013	0,96	7,98	9,06	2.348	6,45	22,2
2014	0,94	7,84	8,90	2.308	6,34	21,8
2015	0,93	7,71	8,75	2.269	6,23	21,4
2016	0,91	7,58	8,60	2.230	6,12	21,0
2017	0,89	7,45	8,46	2.192	6,02	20,7
2018	0,88	7,32	8,31	2.155	5,92	20,3
2019	0,86	7,20	8,17	2.118	5,82	20,0
2020	0,85	7,07	8,03	2.082	5,72	19,6
2021	0,84	6,95	7,89	2.047	5,62	19,3
2022	0,82	6,84	7,76	2.012	5,52	19,0
2023	0,81	6,72	7,63	1.978	5,43	18,7
2024	0,79	6,61	7,50	1.945	5,34	18,4
2025	0,78	6,50	7,38	1.913	5,25	18,0
2026	0,77	6,39	7,25	1.881	5,16	17,7
2027	0,75	6,28	7,13	1.849	5,08	17,4
2028	0,74	6,18	7,01	1.819	4,99	17,2
2029	0,73	6,08	6,90	1.789	4,91	16,9
2030	0,72	5,98	6,79	1.760	4,83	16,6
2031	0,71	5,88	6,68	1.731	4,75	16,3
2032	0,69	5,78	6,57	1.703	4,68	16,1
2033	0,68	5,69	6,46	1.676	4,60	15,8
2034	0,67	5,60	6,36	1.649	4,53	15,6
2035	0,66	5,51	6,26	1.623	4,46	15,3
2036	0,65	5,43	6,16	1.598	4,39	15,1
2037	0,64	5,34	6,07	1.574	4,32	14,8
2038	0,63	5,26	5,98	1.550	4,25	14,6
2039	0,62	5,19	5,89	1.527	4,19	14,4
2040	0,61	5,11	5,80	1.504	4,13	14,2
2041	0,60	5,03	5,72	1.482	4,07	14,0
2042	0,60	4,96	5,63	1.461	4,01	13,8
2043	0,59	4,89	5,56	1.441	3,95	13,6
2044	0,58	4,83	5,48	1.421	3,90	13,4
2045	0,57	4,76	5,41	1.402	3,85	13,2
2046	0,56	4,70	5,33	1.383	3,80	13,0
2047	0,56	4,64	5,27	1.365	3,75	12,9
2048	0,55	4,58	5,20	1.348	3,70	12,7
2049	0,54	4,52	5,14	1.332	3,66	12,6
2050	0,54	4,47	5,08	1.316	3,61	12,4

Tabela 8-9 – Cenário BB: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050.

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	2.396.411	2.122.617	20	0	0	0
<b>2011</b>	2.411.621	2.136.089	220	0	0	0
<b>2012</b>	2.420.090	2.143.590	310	0	0	0
<b>2013</b>	2.424.420	2.147.426	520	0	0	0
<b>2014</b>	2.428.333	2.150.891	820	0	0	0
<b>2015</b>	2.434.227	2.156.113	2.000	0	0	0
<b>2016</b>	2.439.827	2.161.072	3.873	0	0	0
<b>2017</b>	2.445.414	2.166.021	5.118	0	0	0
<b>2018</b>	2.449.998	2.170.081	8.042	0	0	0
<b>2019</b>	2.453.311	2.173.016	12.263	0	0	0
<b>2020</b>	2.455.628	2.175.068	18.189	0	0	0
<b>2021</b>	2.456.230	2.175.601	26.283	0	0	0
<b>2022</b>	2.455.332	2.174.806	37.070	0	0	0
<b>2023</b>	2.452.160	2.171.996	51.105	0	0	0
<b>2024</b>	2.446.898	2.167.336	68.982	0	0	0
<b>2025</b>	2.438.756	2.160.124	91.277	0	0	0
<b>2026</b>	2.427.684	2.150.317	118.560	0	0	0
<b>2027</b>	2.413.169	2.137.460	151.344	0	0	0
<b>2028</b>	2.395.458	2.121.773	190.116	0	0	0
<b>2029</b>	2.373.875	2.102.656	235.219	0	0	0
<b>2030</b>	2.348.283	2.079.988	286.752	166	0	0
<b>2031</b>	2.303.149	2.040.010	342.737	325	10.666	0
<b>2032</b>	2.254.366	1.996.801	404.506	608	21.340	2
<b>2033</b>	2.202.067	1.950.477	471.759	1.090	32.014	4
<b>2034</b>	2.146.446	1.901.210	544.050	1.880	42.680	10
<b>2035</b>	2.087.963	1.849.410	620.852	3.125	53.332	22
<b>2036</b>	2.026.479	1.794.951	701.325	5.018	63.948	42
<b>2037</b>	1.962.345	1.738.143	784.595	7.805	74.510	77
<b>2038</b>	1.895.939	1.679.325	869.681	11.779	84.996	134
<b>2039</b>	1.827.855	1.619.020	955.613	17.287	95.390	222
<b>2040</b>	1.758.120	1.557.252	1.041.068	24.711	105.641	356
<b>2041</b>	1.687.347	1.494.564	1.124.971	34.468	115.723	550
<b>2042</b>	1.615.945	1.431.321	1.206.148	46.987	125.594	824
<b>2043</b>	1.544.151	1.367.729	1.283.323	62.687	135.194	1.200
<b>2044</b>	1.472.365	1.304.145	1.355.386	81.964	144.469	1.702
<b>2045</b>	1.401.261	1.241.164	1.421.625	105.189	153.393	2.359
<b>2046</b>	1.330.861	1.178.808	1.480.871	132.634	161.879	3.197
<b>2047</b>	1.261.619	1.117.477	1.532.531	164.518	169.884	4.245
<b>2048</b>	1.193.799	1.057.405	1.576.025	200.958	177.353	5.533
<b>2049</b>	1.127.633	998.799	1.610.934	241.969	184.230	7.087
<b>2050</b>	1.063.088	941.629	1.636.657	287.397	190.424	8.931

Tabela 8-10 - Cenário AA: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050.

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	2.396.411	2.122.617	20	0	0	0
<b>2011</b>	2.411.621	2.136.089	220	0	0	0
<b>2012</b>	2.420.090	2.143.590	310	0	0	0
<b>2013</b>	2.424.420	2.147.426	520	0	0	0
<b>2014</b>	2.428.333	2.150.891	820	0	0	0
<b>2015</b>	2.434.227	2.156.113	2.000	0	0	0
<b>2016</b>	2.439.827	2.161.072	3.873	0	0	0
<b>2017</b>	2.302.734	2.039.643	274.177	0	0	0
<b>2018</b>	2.236.590	1.981.056	410.475	0	0	0
<b>2019</b>	2.152.051	1.906.175	580.363	0	0	0
<b>2020</b>	2.050.905	1.816.585	777.479	3.917	0	0
<b>2021</b>	1.917.837	1.698.720	988.897	10.630	14.009	19
<b>2022</b>	1.776.351	1.573.400	1.208.226	25.004	27.985	91
<b>2023</b>	1.630.031	1.443.797	1.422.853	52.018	41.796	287
<b>2024</b>	1.483.019	1.313.582	1.620.161	97.409	55.251	724
<b>2025</b>	1.338.382	1.185.469	1.788.042	166.627	68.060	1.562
<b>2026</b>	1.199.060	1.062.066	1.917.346	263.750	79.900	2.995
<b>2027</b>	1.067.062	945.149	2.002.096	390.550	90.417	5.225
<b>2028</b>	944.078	836.216	2.040.806	546.233	99.317	8.433
<b>2029</b>	830.781	735.863	2.034.830	727.318	106.344	12.757
<b>2030</b>	727.585	644.457	1.988.832	928.389	111.360	18.274
<b>2031</b>	634.570	562.069	1.909.629	1.142.944	114.350	24.996
<b>2032</b>	551.369	488.374	1.804.584	1.363.906	115.382	32.871
<b>2033</b>	477.489	422.935	1.681.365	1.584.573	114.619	41.797
<b>2034</b>	412.298	365.193	1.547.100	1.799.043	112.287	51.636
<b>2035</b>	355.125	314.551	1.408.118	2.002.709	108.657	62.234
<b>2036</b>	305.151	270.287	1.269.161	2.191.563	103.978	73.413
<b>2037</b>	261.654	231.759	1.134.152	2.363.094	98.517	85.008
<b>2038</b>	223.933	198.348	1.005.917	2.515.839	92.521	96.865
<b>2039</b>	191.345	169.484	886.422	2.649.495	86.216	108.859
<b>2040</b>	163.235	144.585	776.555	2.763.642	79.771	120.849
<b>2041</b>	139.064	123.176	676.882	2.859.182	73.348	132.749
<b>2042</b>	118.325	104.806	587.402	2.937.119	67.066	144.480
<b>2043</b>	100.555	89.066	507.725	2.998.368	61.010	155.964
<b>2044</b>	85.356	75.604	437.317	3.044.271	55.247	167.152
<b>2045</b>	72.393	64.122	375.585	3.076.871	49.834	178.045
<b>2046</b>	61.337	54.329	321.680	3.096.913	44.783	188.585
<b>2047</b>	51.927	45.994	274.866	3.106.057	40.114	198.776
<b>2048</b>	43.927	38.908	234.377	3.105.559	35.825	208.610
<b>2049</b>	37.131	32.889	199.481	3.096.578	31.909	218.087
<b>2050</b>	31.359	27.776	169.460	3.079.502	28.345	227.159

Tabela 8-11 - Cenário AB: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050.

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	2.396.411	2.122.617	20	0	0	0
<b>2011</b>	2.411.621	2.136.089	220	0	0	0
<b>2012</b>	2.420.090	2.143.590	310	0	0	0
<b>2013</b>	2.424.420	2.147.426	520	0	0	0
<b>2014</b>	2.428.333	2.150.891	820	0	0	0
<b>2015</b>	2.434.227	2.156.113	2.000	0	0	0
<b>2016</b>	2.439.827	2.161.072	3.873	0	0	0
<b>2017</b>	2.445.414	2.166.021	5.118	0	0	0
<b>2018</b>	2.449.998	2.170.081	8.042	0	0	0
<b>2019</b>	2.453.311	2.173.016	12.263	0	0	0
<b>2020</b>	2.455.628	2.175.068	18.189	0	0	0
<b>2021</b>	2.456.230	2.175.601	26.283	0	0	0
<b>2022</b>	2.455.332	2.174.806	37.070	0	0	0
<b>2023</b>	2.452.160	2.171.996	51.105	0	0	0
<b>2024</b>	2.446.898	2.167.336	68.982	0	0	0
<b>2025</b>	2.438.756	2.160.124	87.325	3.952	0	0
<b>2026</b>	2.414.541	2.138.676	107.162	10.757	8.475	12
<b>2027</b>	2.387.040	2.114.316	124.328	25.376	16.916	55
<b>2028</b>	2.356.553	2.087.312	134.063	52.961	25.250	173
<b>2029</b>	2.322.468	2.057.122	130.635	99.479	33.352	437
<b>2030</b>	2.284.717	2.023.684	108.428	170.699	41.054	942
<b>2031</b>	2.243.519	1.987.193	63.071	271.062	48.161	1.805
<b>2032</b>	2.198.692	1.947.487	0	395.029	54.561	3.087
<b>2033</b>	2.150.351	1.904.670	0	461.637	61.330	4.146
<b>2034</b>	2.098.671	1.858.894	0	533.638	67.721	5.423
<b>2035</b>	2.044.089	1.810.549	0	610.686	73.708	6.936
<b>2036</b>	1.986.456	1.759.500	0	692.168	79.246	8.697
<b>2037</b>	1.926.100	1.706.040	0	777.488	84.309	10.719
<b>2038</b>	1.863.384	1.650.489	0	865.990	88.876	13.010
<b>2039</b>	1.798.878	1.593.353	0	957.077	92.940	15.576
<b>2040</b>	1.732.598	1.534.646	0	1.049.839	96.475	18.414
<b>2041</b>	1.665.140	1.474.895	0	1.143.635	99.486	21.524
<b>2042</b>	1.596.902	1.414.453	0	1.237.742	101.977	24.900
<b>2043</b>	1.528.111	1.353.521	0	1.331.317	103.944	28.529
<b>2044</b>	1.459.157	1.292.446	0	1.423.659	105.400	32.398
<b>2045</b>	1.390.707	1.231.816	0	1.514.428	106.384	36.499
<b>2046</b>	1.322.781	1.171.651	0	1.602.732	106.897	40.808
<b>2047</b>	1.255.830	1.112.350	0	1.688.196	106.972	45.309
<b>2048</b>	1.190.119	1.054.146	0	1.770.351	106.638	49.983
<b>2049</b>	1.125.881	997.248	0	1.848.786	105.924	54.807
<b>2050</b>	1.063.088	941.629	0	1.922.734	104.836	59.749



Tabela 8-12 - Cenário BA: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050.

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	2.396.411	2.122.617	20	0	0	0
<b>2011</b>	2.411.621	2.136.089	220	0	0	0
<b>2012</b>	2.420.090	2.143.590	310	0	0	0
<b>2013</b>	2.424.420	2.147.426	520	0	0	0
<b>2014</b>	2.428.333	2.150.891	820	0	0	0
<b>2015</b>	2.434.227	2.156.113	2.000	0	0	0
<b>2016</b>	2.439.827	2.161.072	3.873	0	0	0
<b>2017</b>	2.302.734	2.039.643	274.177	0	0	0
<b>2018</b>	2.236.590	1.981.056	410.475	0	0	0
<b>2019</b>	2.152.051	1.906.175	580.363	0	0	0
<b>2020</b>	2.050.905	1.816.585	781.396	0	0	0
<b>2021</b>	1.935.299	1.714.187	1.008.628	0	0	0
<b>2022</b>	1.808.996	1.602.315	1.255.896	0	0	0
<b>2023</b>	1.675.382	1.483.967	1.515.913	0	0	0
<b>2024</b>	1.538.548	1.362.766	1.781.901	0	0	0
<b>2025</b>	1.401.616	1.241.479	2.046.897	165	0	0
<b>2026</b>	1.253.965	1.110.697	2.280.726	322	16.988	1
<b>2027</b>	1.114.337	987.022	2.498.190	601	34.013	3
<b>2028</b>	984.475	871.997	2.696.893	1.074	51.072	7
<b>2029</b>	865.048	766.214	2.874.575	1.845	68.148	17
<b>2030</b>	756.450	670.024	3.030.388	3.055	85.224	35
<b>2031</b>	658.725	583.465	3.164.553	4.889	102.289	67
<b>2032</b>	571.454	506.164	3.277.212	7.577	119.313	123
<b>2033</b>	494.084	437.634	3.369.167	11.395	136.266	214
<b>2034</b>	425.924	377.262	3.441.439	16.664	153.108	357
<b>2035</b>	366.243	324.399	3.495.518	23.739	169.814	572
<b>2036</b>	314.161	278.268	3.531.852	32.997	186.297	886
<b>2037</b>	268.904	238.181	3.551.568	44.821	202.488	1.329
<b>2038</b>	229.722	203.476	3.555.754	59.584	218.311	1.938
<b>2039</b>	195.929	173.544	3.545.815	77.637	233.708	2.754
<b>2040</b>	166.829	147.769	3.521.998	99.260	248.540	3.822
<b>2041</b>	141.851	125.644	3.485.617	124.686	262.737	5.188
<b>2042</b>	120.456	106.694	3.437.587	154.058	276.203	6.902
<b>2043</b>	102.158	90.486	3.378.452	187.409	288.810	9.010
<b>2044</b>	86.535	76.649	3.309.125	224.679	300.462	11.559
<b>2045</b>	73.236	64.869	3.231.218	265.761	311.137	14.592
<b>2046</b>	61.916	54.842	3.144.951	310.353	320.692	18.145
<b>2047</b>	52.299	46.324	3.051.604	358.138	329.092	22.250
<b>2048</b>	44.139	39.096	2.952.113	408.695	336.284	26.930
<b>2049</b>	37.222	32.970	2.847.421	461.534	342.228	32.202
<b>2050</b>	31.359	27.776	2.737.868	516.003	346.825	38.063

Tabela 8-13 - Cenário CC: Projeção do número dos diferentes veículos da frota portuguesa até 2050.

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	2.396.411	2.122.617	20	0	0	0
<b>2011</b>	2.411.621	2.136.089	220	0	0	0
<b>2012</b>	2.420.090	2.143.590	310	0	0	0
<b>2013</b>	2.424.420	2.147.426	520	0	0	0
<b>2014</b>	2.428.333	2.150.891	820	0	0	0
<b>2015</b>	2.434.227	2.156.113	2.000	0	0	0
<b>2016</b>	2.439.827	2.161.072	3.873	0	0	0
<b>2017</b>	2.426.912	2.149.633	40.009	0	0	0
<b>2018</b>	2.418.199	2.141.916	68.005	0	0	0
<b>2019</b>	2.402.025	2.127.589	108.976	0	0	0
<b>2020</b>	2.377.381	2.105.761	165.744	0	0	0
<b>2021</b>	2.342.577	2.074.934	240.604	0	0	0
<b>2022</b>	2.297.258	2.034.793	335.157	0	0	0
<b>2023</b>	2.240.644	1.984.647	449.970	0	0	0
<b>2024</b>	2.173.393	1.925.079	584.745	0	0	0
<b>2025</b>	2.095.778	1.856.332	737.739	308	0	0
<b>2026</b>	1.992.853	1.765.166	899.511	892	12.739	1
<b>2027</b>	1.883.742	1.668.521	1.071.049	2.294	25.500	8
<b>2028</b>	1.770.652	1.568.351	1.248.354	5.309	38.269	26
<b>2029</b>	1.655.063	1.465.969	1.426.489	11.177	51.007	74
<b>2030</b>	1.538.785	1.362.976	1.600.331	21.639	63.656	182
<b>2031</b>	1.423.620	1.260.969	1.764.777	38.886	76.137	395
<b>2032</b>	1.310.855	1.161.087	1.914.492	65.395	88.324	782
<b>2033</b>	1.201.705	1.064.408	2.044.701	103.675	100.063	1.429
<b>2034</b>	1.097.140	971.790	2.151.364	155.963	111.172	2.440
<b>2035</b>	997.992	883.970	2.231.693	223.952	121.468	3.928
<b>2036</b>	904.554	801.207	2.283.434	308.475	130.727	6.005
<b>2037</b>	817.159	723.798	2.306.065	409.459	138.766	8.774
<b>2038</b>	735.971	651.885	2.300.331	525.888	145.432	12.320
<b>2039</b>	661.072	585.543	2.268.332	655.974	150.630	16.702
<b>2040</b>	592.217	524.556	2.212.345	797.071	154.270	21.946
<b>2041</b>	529.291	468.819	2.135.980	946.261	156.361	28.052
<b>2042</b>	472.035	418.104	2.042.959	1.100.353	156.944	34.987
<b>2043</b>	420.097	372.100	1.936.893	1.256.016	156.088	42.691
<b>2044</b>	373.155	330.522	1.821.525	1.410.167	153.915	51.082
<b>2045</b>	330.941	293.130	1.700.690	1.560.359	150.602	60.077
<b>2046</b>	293.019	259.541	1.577.080	1.703.933	146.278	69.564
<b>2047</b>	259.073	229.474	1.453.511	1.839.127	141.127	79.441
<b>2048</b>	228.758	202.622	1.332.153	1.964.469	135.317	89.604
<b>2049</b>	201.743	178.694	1.214.722	2.078.906	129.007	99.951
<b>2050</b>	177.677	157.377	1.102.279	2.181.300	122.320	110.364

Tabela 8-14 – Cenário BB: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh).

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	16,6	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2011</b>	16,5	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2012</b>	16,3	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2013</b>	16,0	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2014</b>	15,8	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2015</b>	15,5	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2016</b>	15,3	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2017</b>	15,1	18,3	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2018</b>	14,8	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2019</b>	14,6	17,8	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2020</b>	14,4	17,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2021</b>	14,1	17,2	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2022</b>	13,9	16,9	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2023</b>	13,6	16,6	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2024</b>	13,4	16,3	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2025</b>	13,1	15,9	0,2	0,0	0,0	0,0
<b>2026</b>	12,8	15,6	0,2	0,0	0,0	0,0
<b>2027</b>	12,5	15,2	0,3	0,0	0,0	0,0
<b>2028</b>	12,2	14,9	0,4	0,0	0,0	0,0
<b>2029</b>	11,9	14,5	0,5	0,0	0,0	0,0
<b>2030</b>	11,6	14,1	0,6	0,0	0,0	0,0
<b>2031</b>	11,2	13,6	0,7	0,0	0,0	0,0
<b>2032</b>	10,7	13,1	0,8	0,0	0,1	0,0
<b>2033</b>	10,3	12,6	1,0	0,0	0,1	0,0
<b>2034</b>	9,9	12,1	1,1	0,0	0,1	0,0
<b>2035</b>	9,5	11,6	1,3	0,0	0,2	0,0
<b>2036</b>	9,0	11,1	1,4	0,0	0,2	0,0
<b>2037</b>	8,6	10,5	1,6	0,0	0,2	0,0
<b>2038</b>	8,2	10,0	1,8	0,0	0,3	0,0
<b>2039</b>	7,8	9,5	2,0	0,0	0,3	0,0
<b>2040</b>	7,4	9,0	2,1	0,1	0,3	0,0
<b>2041</b>	7,0	8,5	2,3	0,1	0,4	0,0
<b>2042</b>	6,6	8,1	2,5	0,1	0,4	0,0
<b>2043</b>	6,2	7,6	2,6	0,1	0,4	0,0
<b>2044</b>	5,8	7,1	2,8	0,2	0,5	0,0
<b>2045</b>	5,5	6,7	2,9	0,2	0,5	0,0
<b>2046</b>	5,1	6,3	3,0	0,3	0,5	0,0
<b>2047</b>	4,8	5,9	3,2	0,4	0,6	0,0
<b>2048</b>	4,5	5,5	3,2	0,4	0,6	0,0
<b>2049</b>	4,2	5,1	3,3	0,5	0,6	0,0
<b>2050</b>	3,9	4,8	3,4	0,6	0,6	0,0

Tabela 8-15 - Cenário AA: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh).

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	16,6	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2011</b>	16,5	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2012</b>	16,3	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2013</b>	16,0	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2014</b>	15,8	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2015</b>	15,5	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2016</b>	15,3	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2017</b>	14,2	17,2	0,6	0,0	0,0	0,0
<b>2018</b>	13,6	16,5	0,8	0,0	0,0	0,0
<b>2019</b>	12,8	15,6	1,2	0,0	0,0	0,0
<b>2020</b>	12,0	14,6	1,6	0,0	0,0	0,0
<b>2021</b>	11,0	13,4	2,0	0,0	0,0	0,0
<b>2022</b>	10,0	12,2	2,5	0,1	0,1	0,0
<b>2023</b>	9,1	11,0	2,9	0,1	0,1	0,0
<b>2024</b>	8,1	9,9	3,3	0,2	0,2	0,0
<b>2025</b>	7,2	8,7	3,7	0,4	0,2	0,0
<b>2026</b>	6,3	7,7	3,9	0,6	0,3	0,0
<b>2027</b>	5,5	6,7	4,1	0,9	0,3	0,0
<b>2028</b>	4,8	5,9	4,2	1,3	0,4	0,0
<b>2029</b>	4,2	5,1	4,2	1,7	0,4	0,0
<b>2030</b>	3,6	4,4	4,1	2,2	0,4	0,1
<b>2031</b>	3,1	3,8	3,9	2,7	0,4	0,1
<b>2032</b>	2,6	3,2	3,7	3,2	0,4	0,1
<b>2033</b>	2,2	2,7	3,5	3,7	0,4	0,1
<b>2034</b>	1,9	2,3	3,2	4,2	0,4	0,2
<b>2035</b>	1,6	2,0	2,9	4,7	0,4	0,2
<b>2036</b>	1,4	1,7	2,6	5,2	0,4	0,2
<b>2037</b>	1,1	1,4	2,3	5,6	0,4	0,3
<b>2038</b>	1,0	1,2	2,1	5,9	0,3	0,3
<b>2039</b>	0,8	1,0	1,8	6,3	0,3	0,3
<b>2040</b>	0,7	0,8	1,6	6,5	0,3	0,4
<b>2041</b>	0,6	0,7	1,4	6,7	0,3	0,4
<b>2042</b>	0,5	0,6	1,2	6,9	0,2	0,4
<b>2043</b>	0,4	0,5	1,0	7,1	0,2	0,5
<b>2044</b>	0,3	0,4	0,9	7,2	0,2	0,5
<b>2045</b>	0,3	0,3	0,8	7,3	0,2	0,5
<b>2046</b>	0,2	0,3	0,7	7,3	0,2	0,6
<b>2047</b>	0,2	0,2	0,6	7,3	0,1	0,6
<b>2048</b>	0,2	0,2	0,5	7,3	0,1	0,6
<b>2049</b>	0,1	0,2	0,4	7,3	0,1	0,7
<b>2050</b>	0,1	0,1	0,3	7,3	0,1	0,7

Tabela 8-16 - Cenário AB: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh).

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	16,6	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2011</b>	16,5	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2012</b>	16,3	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2013</b>	16,0	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2014</b>	15,8	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2015</b>	15,5	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2016</b>	15,3	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2017</b>	15,1	18,3	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2018</b>	14,8	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2019</b>	14,6	17,8	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2020</b>	14,4	17,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2021</b>	14,1	17,2	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2022</b>	13,9	16,9	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2023</b>	13,6	16,6	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2024</b>	13,4	16,3	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2025</b>	13,1	15,9	0,2	0,0	0,0	0,0
<b>2026</b>	12,7	15,5	0,2	0,0	0,0	0,0
<b>2027</b>	12,4	15,1	0,3	0,1	0,1	0,0
<b>2028</b>	12,0	14,6	0,3	0,1	0,1	0,0
<b>2029</b>	11,6	14,2	0,3	0,2	0,1	0,0
<b>2030</b>	11,3	13,7	0,2	0,4	0,1	0,0
<b>2031</b>	10,9	13,3	0,1	0,6	0,2	0,0
<b>2032</b>	10,5	12,8	0,0	0,9	0,2	0,0
<b>2033</b>	10,1	12,3	0,0	1,0	0,2	0,0
<b>2034</b>	9,7	11,8	0,0	1,2	0,2	0,0
<b>2035</b>	9,3	11,3	0,0	1,3	0,2	0,0
<b>2036</b>	8,9	10,8	0,0	1,5	0,3	0,0
<b>2037</b>	8,5	10,4	0,0	1,7	0,3	0,0
<b>2038</b>	8,1	9,9	0,0	1,9	0,3	0,0
<b>2039</b>	7,7	9,4	0,0	2,1	0,3	0,0
<b>2040</b>	7,3	8,9	0,0	2,3	0,3	0,1
<b>2041</b>	6,9	8,4	0,0	2,5	0,3	0,1
<b>2042</b>	6,5	8,0	0,0	2,7	0,3	0,1
<b>2043</b>	6,1	7,5	0,0	2,9	0,3	0,1
<b>2044</b>	5,8	7,1	0,0	3,1	0,3	0,1
<b>2045</b>	5,4	6,7	0,0	3,3	0,3	0,1
<b>2046</b>	5,1	6,2	0,0	3,5	0,3	0,1
<b>2047</b>	4,8	5,9	0,0	3,7	0,3	0,1
<b>2048</b>	4,5	5,5	0,0	3,8	0,3	0,1
<b>2049</b>	4,2	5,1	0,0	4,0	0,3	0,2
<b>2050</b>	3,9	4,8	0,0	4,2	0,3	0,2

Tabela 8-17 - Cenário BA: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh).

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	16,6	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2011</b>	16,5	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2012</b>	16,3	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2013</b>	16,0	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2014</b>	15,8	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2015</b>	15,5	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2016</b>	15,3	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2017</b>	14,2	17,2	0,6	0,0	0,0	0,0
<b>2018</b>	13,6	16,5	0,8	0,0	0,0	0,0
<b>2019</b>	12,8	15,6	1,2	0,0	0,0	0,0
<b>2020</b>	12,0	14,6	1,6	0,0	0,0	0,0
<b>2021</b>	11,1	13,5	2,1	0,0	0,0	0,0
<b>2022</b>	10,2	12,4	2,6	0,0	0,0	0,0
<b>2023</b>	9,3	11,3	3,1	0,0	0,0	0,0
<b>2024</b>	8,4	10,2	3,7	0,0	0,0	0,0
<b>2025</b>	7,5	9,2	4,2	0,0	0,0	0,0
<b>2026</b>	6,6	8,1	4,7	0,0	0,1	0,0
<b>2027</b>	5,8	7,0	5,1	0,0	0,1	0,0
<b>2028</b>	5,0	6,1	5,5	0,0	0,2	0,0
<b>2029</b>	4,3	5,3	5,9	0,0	0,2	0,0
<b>2030</b>	3,7	4,5	6,2	0,0	0,3	0,0
<b>2031</b>	3,2	3,9	6,5	0,0	0,4	0,0
<b>2032</b>	2,7	3,3	6,7	0,0	0,4	0,0
<b>2033</b>	2,3	2,8	6,9	0,0	0,5	0,0
<b>2034</b>	2,0	2,4	7,1	0,0	0,5	0,0
<b>2035</b>	1,7	2,0	7,2	0,1	0,6	0,0
<b>2036</b>	1,4	1,7	7,3	0,1	0,7	0,0
<b>2037</b>	1,2	1,4	7,3	0,1	0,7	0,0
<b>2038</b>	1,0	1,2	7,3	0,1	0,8	0,0
<b>2039</b>	0,8	1,0	7,3	0,2	0,8	0,0
<b>2040</b>	0,7	0,9	7,2	0,2	0,9	0,0
<b>2041</b>	0,6	0,7	7,2	0,3	0,9	0,0
<b>2042</b>	0,5	0,6	7,1	0,4	1,0	0,0
<b>2043</b>	0,4	0,5	7,0	0,4	1,0	0,0
<b>2044</b>	0,3	0,4	6,8	0,5	1,1	0,0
<b>2045</b>	0,3	0,4	6,6	0,6	1,1	0,0
<b>2046</b>	0,2	0,3	6,5	0,7	1,1	0,1
<b>2047</b>	0,2	0,2	6,3	0,8	1,2	0,1
<b>2048</b>	0,2	0,2	6,1	1,0	1,2	0,1
<b>2049</b>	0,1	0,2	5,9	1,1	1,2	0,1
<b>2050</b>	0,1	0,1	5,6	1,2	1,2	0,1

Tabela 8-18 - Cenário CC: Projeção do consumo da frota portuguesa até 2050 (TWh).

	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>EV</b>	<b>AV</b>	<b>AV - Car sharing</b>	<b>AV - Ride sharing</b>
<b>2010</b>	16,6	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2011</b>	16,5	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2012</b>	16,3	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2013</b>	16,0	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2014</b>	15,8	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2015</b>	15,5	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2016</b>	15,3	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>2017</b>	15,0	18,2	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2018</b>	14,7	17,8	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>2019</b>	14,3	17,4	0,2	0,0	0,0	0,0
<b>2020</b>	13,9	16,9	0,3	0,0	0,0	0,0
<b>2021</b>	13,5	16,4	0,5	0,0	0,0	0,0
<b>2022</b>	13,0	15,8	0,7	0,0	0,0	0,0
<b>2023</b>	12,4	15,1	0,9	0,0	0,0	0,0
<b>2024</b>	11,9	14,4	1,2	0,0	0,0	0,0
<b>2025</b>	11,2	13,7	1,5	0,0	0,0	0,0
<b>2026</b>	10,5	12,8	1,9	0,0	0,0	0,0
<b>2027</b>	9,8	11,9	2,2	0,0	0,1	0,0
<b>2028</b>	9,0	11,0	2,6	0,0	0,1	0,0
<b>2029</b>	8,3	10,1	2,9	0,0	0,2	0,0
<b>2030</b>	7,6	9,2	3,3	0,1	0,2	0,0
<b>2031</b>	6,9	8,4	3,6	0,1	0,3	0,0
<b>2032</b>	6,2	7,6	3,9	0,2	0,3	0,0
<b>2033</b>	5,6	6,9	4,2	0,2	0,4	0,0
<b>2034</b>	5,1	6,2	4,4	0,4	0,4	0,0
<b>2035</b>	4,5	5,5	4,6	0,5	0,4	0,0
<b>2036</b>	4,0	4,9	4,7	0,7	0,5	0,0
<b>2037</b>	3,6	4,4	4,7	1,0	0,5	0,0
<b>2038</b>	3,2	3,9	4,7	1,2	0,5	0,0
<b>2039</b>	2,8	3,4	4,7	1,5	0,5	0,1
<b>2040</b>	2,5	3,0	4,6	1,9	0,5	0,1
<b>2041</b>	2,2	2,7	4,4	2,2	0,6	0,1
<b>2042</b>	1,9	2,4	4,2	2,6	0,6	0,1
<b>2043</b>	1,7	2,1	4,0	3,0	0,6	0,1
<b>2044</b>	1,5	1,8	3,7	3,3	0,5	0,2
<b>2045</b>	1,3	1,6	3,5	3,7	0,5	0,2
<b>2046</b>	1,1	1,4	3,2	4,0	0,5	0,2
<b>2047</b>	1,0	1,2	3,0	4,3	0,5	0,2
<b>2048</b>	0,9	1,1	2,7	4,6	0,5	0,3
<b>2049</b>	0,7	0,9	2,5	4,9	0,5	0,3
<b>2050</b>	0,6	0,8	2,3	5,1	0,4	0,3